

UNIVERSITÉ DE NANCY

FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

présentées à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

pour obtenir

le grade de Docteur d'Université

par

Francisco GARRIDO

1^{re} THÈSE : Etude sur la variabilité de quelques provenances du pin de Monterey (Pinus radiata D. Don) et de leur résistance au froid.

2^e THÈSE : Répartition et comportement des principales espèces du genre Nothofagus au Chili.

Soutenues le 2 novembre 1966 devant la Commission d'Examen

MM. F. MANGENOT	Président
J. GARNIER	Examineur
P. BOUVAREL	»



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555020_0024

UNIVERSITÉ DE NANCY

FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

présentées à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

pour obtenir

le grade de Docteur d'Université

par

Francisco GARRIDO

1^{re} THÈSE : **Etude sur la variabilité de quelques provenances du pin de Monterey (Pinus radiata D. Don) et de leur résistance au froid.**

2^e THÈSE : **Répartition et comportement des principales espèces du genre Nothofagus au Chili.**

Soutenues le 2 novembre 1966 devant la Commission d'Examen

MM. F. MANGENOT	<i>Président</i>
J. GARNIER	<i>Examineur</i>
P. BOUVAREL	»



Doyen : M. AUBRY

Assesseur : M. GAY

Doyens honoraires

MM. CORNUBERT, DELSARTE, URION, ROUBAULT

Professeurs honoraires

MM. CROZE, RAYBAUD, LAFFITTE, LERAY, JULY, LAPORTE, EICHHORN, GODEMENT,
DUBREUIL, L. SCHWARTZ, DIEUDONNE, DE MALLEMANN, LONGCHAMBON, LETORT,
DODE, GAUTHIER, GOUDET, OLMER, CORNUBERT, CHAPELLE, GUERIN,
WAHL, ECHEVIN

Maîtres de conférences honoraires

MM. LIENHART, PIERRET

Professeurs

Chimie biologique.....	MM. URION
Analyse supérieure.....	DELSARTE
Géologie.....	ROUBAULT
Mécanique rationnelle.....	CAPELLE
Biologie animale.....	VEILLET
Chimie théorique.....	BARRIOL
Physique.....	BIZETTE
Electronique.....	GUILLIEN
Chimie physique.....	GIBERT
Mécanique rationnelle.....	LEGRAS
Minéralogie.....	BOLFA
Chimie.....	NICLAUSE
Physique appliquée.....	FAIVRE
Chimie minérale.....	AUBRY
Radiogéologie.....	COPPENS
Chimie.....	DUVAL

Physique.....	MM. FRUHLING
Géologie.....	HILLY
Génie chimique.....	LE GOFF
Physique expérimentale.....	SUHNER
Chimie biologique.....	CHAPON
Chimie miné. industrielle.....	HEROLD
Exploitation minière.....	SCHWARTZ
Chimie.....	* MALAPRADE
Botanique.....	MANGENOT
Physiologie.....	* GAYET
Mécanique appliquée.....	BONVALET
Physique.....	HADNI
Chimie.....	* BASTIC
Minéralogie.....	* KERN
Pédologie.....	DUCHAUFOR
Agronomie.....	GARNIER
Minéralogie appliquée.....	* WEPPE
Chimie organique industrielle.....	NEEL
Géologie appliquée.....	BERNARD
Physique.....	* CHAMPIER
Chimie biologique.....	* GAY
Physico-chimie.....	* REGNIER
Zoologie.....	STEPHAN
Zoologie.....	* CONDE
Botanique.....	* WERNER
Calcul différentiel et intégral.....	EYMAR
Chimie organique.....	LEVISALLES
Méthodes mathématiques de la Physique.....	Mme HERVE
Mécanique physique.....	GOSSE

Année scolaire 1965-1966

* Professeur titulaire à titre personnel

Maîtres de conférences

Chimie M.P.C. (Epinal).....	Mme BASTICK
Physique.....	MM. GUDEFIN
Géologie.....	ROCCI
Psychophysiologie.....	VUILLAUME
Biologie animale.....	FRENTZ
Physique propédeutique.....	HORN
Physique (I.S.I.N.).....	LAFON
Chimie (I.S.I.N.).....	MARI
Géologie.....	AUROUZE
Physique théorique et nucléaire.....	FELDEN

Physique du solide.....	DEVIOT
Physique M.C.P.....	FLECHON
Mathématiques S.P.C.N.....	Mme HUET
Métallurgie.....	BALESDENT
Thermodynamique chimique appliquée.....	BLAZY
Minéralogie appliquée (E.N.S.G.).....	JANOT
Physique M.P.C. (Epinal).....	JACQUIN
Pédologie et Chimie agricole.....	N.....
Physique M.G.P.....	N.....
Entomologie appliquée.....	N.....
Chimie M.P.C.....	N.....
Probabilités et statistiques.....	N.....
Mécanique (I.S.I.N.).....	N.....
Mathématiques.....	N.....
Mécanique expérimentale.....	N.....
Génie chimique.....	N.....
Mathématiques M.P.C.....	MM. VIGNES
Mathématiques S.P.C.N.....	MAINARD
Mathématiques appliquées.....	CACHAN
Mécanique des fluides.....	MARTIN
Physiologie animale.....	N.....

TABLE DES MATIERES

	Page
<u>AVANT-PROPOS</u>	1
1 - <u>INTRODUCTION</u>	3
2 - <u>TAXONOMIE</u>	8
3 - <u>REVISION BIBLIOGRAPHIQUE</u>	10
31 - Provenances naturelles	10
32 - Peuplements artificiels	11
33 - Variabilité des caractères morphologiques	11
34 - Résistance au froid	14
35 - Les tests précoces	15
36 - Les tests variétaux	17
4 - <u>MATERIEL UTILISE DANS L'EXPERIENCE</u>	19
41 - Obtention des graines	19
42 - Description des provenances expérimentées	20
43 - Utilisation des graines et des semis	22
44 - Mesures effectuées	22
5 - <u>ANALYSES STATISTIQUES</u>	27
51 - Variabilité des caractères	27
52 - La résistance au froid	28
53 - Variabilité des quelques caractères influencés par les conditions du milieu	30
54 - Relations entre les caractères morphologiques	30
55 - Relations entre les caractères morphologiques, la résistance au froid et la hauteur totale des plants de deux ans	31
56 - Relations entre plusieurs variables	31

	Page
6 - <u>VARIABILITE DES CARACTERES</u>	33
61 - Les graines	33
62 - Les cotylédons	37
63 - L'hypocotyle	40
64 - L'épicotyle	43
65 - Les aiguilles	44
66 - Les stomates	50
67 - Matière sèche des aiguilles	52
68 - Hauteur totale des plants de deux ans	54
7 - <u>RESISTANCE AU FROID</u>	56
71 - A la pépinière d'Amance - Température minimum : - 7°C	56
72 - En chambre froide - Température minimum : - 10°C	59
8 - <u>CORRELATIONS</u>	62
81 - Coefficients de corrélation totale	62
82 - Coefficients de corrélation partielle	71
9 - <u>DISCUSSION DES RESULTATS</u>	73
91 - Variabilité des caractères	73
92 - Résistance au froid	77
93 - Relations entre les caractères morphologiques et la résistance au froid	78
94 - Relations entre la longueur de la saison de végétation et les caractères morphologiques	80
95 - Relations entre la hauteur totale des plants de deux ans, les caractères morphologiques et la résistance au froid	80
96 - Similitude entre provenances. Tests variétaux	81
10 - <u>CONCLUSIONS</u>	85
<u>RESUME</u>	95
<u>RESUMEN</u>	96

AVANT - PROPOS

Cette étude a été poursuivie à la Station d'amélioration des arbres forestiers du Centre National de Recherches Forestières de l'Institut National de la Recherche Agronomique à Nancy, France.

Je tiens à exprimer ma vive gratitude à M. Pierre BOUVAREL, Directeur de la Station d'amélioration des arbres forestiers, qui a bien voulu se charger de la direction de ce travail et mettre à ma disposition les laboratoires, le matériel et le personnel de la Station qui m'ont permis de mener à bonne fin cette thèse. Je lui suis également reconnaissant pour ses conseils, ainsi que pour l'intérêt qu'il a manifesté à la révision et correction finales du texte.

J'adresse à M. MANGENOT, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy, mes remerciements pour avoir accepté de patronner cette thèse, pour son aide précieuse et pour l'intérêt qu'il a bien voulu prendre à ce travail, et à M. GARNIER, également Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy, ma gratitude pour avoir bien voulu accepter de faire partie du Jury.

Aux Ingénieurs de la Station, MM. LACAZE, LEMOINE et ARBEZ, ma reconnaissance pour leurs conseils, leur aide et leur bienveillance manifestée à tout instant, pendant la durée de ce travail.

Je désire également exprimer ma gratitude à Mme EVRARD et à Mlles DEFER et NOVARINA, Secrétaires de la Station, qui ont, avec une efficacité remarquable, accompli la lourde tâche de dactylographier le texte, le corriger et le ronéotyper. A M. HENRION, Dessinateur de la Station, qui a très brillamment exécuté les graphiques de la thèse, j'exprime aussi ma reconnaissance.

Mes remerciements vont aussi au personnel de la Station, qui,

d'une façon ou d'une autre, a contribué à l'exécution de ce travail, en mentionnant très spécialement M. AUBERT, Chef de District des Eaux et Forêts et M. POHOSKI, Technicien.

A MM. CALLAHAM, des Etats-Unis d'Amérique, MARSH, d'Afrique du Sud, DU MERLE, de Rennes, France, TOHÁ et LLODRÁ, du Chili, mes remerciements pour l'envoi des graines de pin de Monterey, qui m'ont permis d'effectuer les observations de la thèse. De M. DUMUR, du C.E.T.E.F. du Finistère, je garde un excellent souvenir, pour son aide durant la récolte des graines en Bretagne.

Je remercie d'une façon particulière M. BANNISTER, du Forest Research Institute du Service Forestier de la Nouvelle-Zélande pour ses conseils ; Mme M. FORDE, du même Institut, pour m'avoir envoyé les tirés à part de sa thèse sur la variation des peuplements naturels du pin de Monterey, et M. FIELDING, du Service forestier australien pour ses directives concernant ce travail.

Je remercie enfin la Coopération Technique du Gouvernement Français, l'Institut National de la Recherche Agronomique et la Faculté d'Agronomie de l'Université du Chili, dont leurs subventions et leur appui ont rendu possible mon séjour à Nancy.

1 - I N T R O D U C T I O N

Le pin de Monterey (Pinus radiata D. Don) est originaire de la région littorale de la Californie Centrale (Etats-Unis) et de quelques îles du littoral de la Californie du Sud, où il occupe une aire assez restreinte. Son importance économique dans son pays d'origine est pratiquement négligeable, d'une part en raison des faibles volumes sur pied, et d'autre part par suite de l'existence en Californie d'autres essences qui surclassent largement le pin de Monterey par la qualité de leurs bois et de leurs volumes de production.

Mais à partir de cette aire restreinte, le pin de Monterey a été introduit à une grande échelle, dans quelques pays très éloignés de son habitat naturel, tels que la Nouvelle-Zélande, l'Australie, le Chili et l'Afrique du Sud, dans l'hémisphère sud, et l'Espagne dans l'hémisphère nord. On trouve des plantations, plus ou moins importantes, en Bretagne (France), Irlande, Grande-Bretagne, Corse, Afrique du Nord (Tunisie et Maroc), Italie, Israël et en Afrique Tropicale (Kenya, Tanganyka, Uganda, Nyassaland).

Les surfaces reboisées avec cette essence dépassent largement la surface occupée par le pin de Monterey dans son aire originaire et sans doute il est un des arbres forestiers le plus utilisé pour les reboisements dans le monde.

Les surfaces reboisées dans les cinq principaux pays planteurs sont approximativement les suivantes :

Chili	350 000 hectares
Nouvelle-Zélande	230 000 "
Australie	122 000 "
Espagne	51 000 "
Afrique du Sud	21 000 "
Total	774 000 "

A l'heure actuelle, ces chiffres changent rapidement soit parce que certains pays, déjà gros planteurs, comme le Chili par exemple, ont augmenté considérablement leurs efforts de reboisement, où le pin de Monterey prend une place très importante (au Chili, 30 000 hectares par an de pin de Monterey ont été prévus dans les plans de reboisement du gouvernement, pour la période 1965-1970), soit parce que de nouveaux pays commencent à s'intéresser à cette essence et à l'incorporer dans leurs programmes de reboisement.

L'intérêt que ce pin soulève dans le monde est basé principalement sur deux raisons : sa rapidité de croissance et sa rusticité. En effet, dans les stations fertiles il donne facilement 25 m³ à l'hectare et par an, et dans quelques stations exceptionnelles, on a enregistré une croissance moyenne, par hectare et par an, de 35 m³. Il possède une assez grande rusticité, étant capable de pousser sur des sols très pauvres, ce qui a permis son utilisation dans la protection de sols érodés et de terrains abrupts. Sa croissance juvénile rapide permet de couvrir rapidement les terrains exposés, et éventuellement préparer les conditions de l'habitat pour d'autres essences forestières plus intéressantes. Sa valeur comme colonisateur est donc très élevée.

La qualité du bois du pin de Monterey est généralement considérée comme médiocre ; cependant, il donne de la pâte à papier de très bonne qualité et du bois d'oeuvre pour faire des coffrages et revêtements d'intérieur. On l'utilise aussi pour faire des agglomérés et caisses d'emballage. L'aménagement correct des forêts de pin de Monterey permettrait d'améliorer considérablement ses qualités technologiques.

Son point faible est sa sensibilité aux basses températures, ce qui constitue une limitation à son introduction dans certaines régions. Néanmoins, on signale dans son aire naturelle des températures de - 7° C, et dans quelques régions comme la Bretagne par exemple, quelques peuplements ont résisté à des températures aussi basses que - 15° C durant l'hiver de 1956, si bien qu'il est probable que quelques individus

voire quelques groupes d'individus, soient plus résistants au froid que les autres.

Un des objectifs de cette étude est de contribuer à éclaircir le problème très spécial posé par le pin de Monterey, espèce forestière originaire d'une aire très petite, qui a été largement diffusée dans le monde.

La culture de ce pin hors de son aire naturelle a commencé il y a un siècle. Pendant ce temps la superficie des peuplements naturels est restée plus ou moins statique tandis que celle des peuplements artificiels a progressé énormément. Ce fait soulève immédiatement deux questions : cette augmentation de l'aire de l'espèce a-t-elle été accompagnée d'une libération de potentiel génétique ? ; certaines divergences évolutives peuvent-elles être décelées entre les populations naturelles et artificielles ou entre les populations artificielles elles-mêmes ?

Le type de variabilité des populations naturelles est aussi intéressant à mettre à évidence. Cette variabilité infraspécifique est-elle discontinue ou clinale ?

La variabilité de l'espèce à l'intérieur des peuplements naturels a été étudiée par quelques chercheurs (2) (32) (33) (34) qui ont constaté, non seulement des différences très grandes entre les populations insulaires et celles du continent mais aussi des différences très marquées entre deux provenances continentales, Monterey et Cambria, séparées à peine par quelques 140 km. Ces différences peuvent être bien expliquées dans le cas des peuplements insulaires, où l'isolement géographique est sans doute responsable de la différenciation, mais elles sont plus difficiles à expliquer quand il s'agit de populations continentales, très voisines, végétant dans des stations où les conditions du milieu sont assez semblables. Une colonisation effectuée à des époques différentes, aidée par un isolement relatif, est peut-être à l'origine de ces différences.

Les différences entre les provenances continentales Monterey et Cambria sont très grandes pour les caractères de croissance, de cônes et des aiguilles, tandis que la provenance Año Nuevo Point présente en général des caractéristiques intermédiaires. Les différences morphologiques entre Monterey et Cambria sont suffisantes pour suggérer l'existence d'une divergence génétique très appréciable, bien qu'il y ait un certain recouvrement entre les populations et les discontinuités ne sont pas tout à fait complètes (34). On peut toutefois considérer ces deux provenances comme des véritables écotypes (34) (4) (27).

En ce qui concerne les populations artificielles du pin de Monterey, elles proviennent en général d'une des trois provenances continentales. Les stations où elles ont été introduites pour la première fois présentent des conditions écologiques assez semblables à celles de l'aire originaire. La sélection résultant de l'adaptation aux nouveaux milieux n'a pas été probablement très forte au commencement, en raison de cette similitude des conditions du milieu, mais plus tard lorsque des nouveaux reboisements, faits avec des plants issus de la graine récoltée sur place, ont été étendus dans d'autres aires plus différentes des milieux d'origine, il est probable que la sélection ait commencé à influencer pour modifier la fréquence des gènes des populations nouvelles. Cette modification a peut-être été accentuée par les traitements sylvicoles, qui ont, dans la plupart des cas, favorisé les individus à croissance rapide. Des nouvelles provenances se seraient alors créées. Cette sélection a pu être produite au cours d'une seule génération lorsque les facteurs du nouveau milieu ont exercé une forte pression sélective.

Un deuxième objectif de cette étude est celui de l'identification des provenances à l'aide des tests variétaux. Ces tests permettent de déterminer les variétés ou les provenances en effectuant des observations sur des individus aussi jeunes que possible ou sur les graines elles-mêmes. L'origine de chaque provenance peut être déterminée avec beaucoup de précision, si un nombre suffisamment grand de caractères est étudié.

Mais sans doute l'objectif le plus intéressant du point de vue pratique est la détermination d'une provenance (ou d'un groupe de provenances) qui puisse résister à des températures inférieures à -10° C. Ceci permettrait d'étendre les reboisements de l'espèce sur des zones beaucoup plus vastes notamment en Europe de l'Ouest.

En même temps, il est important de mettre au point des tests précoces qui permettront de lier des caractères mesurés sur des jeunes plants et la résistance au froid, afin de pouvoir sélectionner très tôt des individus et des provenances qui soient plus résistants aux dégâts provoqués par les basses températures. L'évaluation sur matériel juvénile de la résistance au froid réduira considérablement les temps très longs nécessaires pour les études de ce problème. De plus, la détermination de la résistance est faite à l'âge où probablement la sélection due à ce facteur est la plus intense, et où les risques de dégâts dans les plantations sont grands ce qui rend les tests encore plus intéressants.

2 - TAXONOMIE

Pinus radiata D. Don appartient à la section Diploxylon, groupe Pinaster, sous-groupe Insignis, du genre Pinus, famille Pinacées (SHAW, 1914). DEBAZAC (1964) classe l'espèce dans la famille Pinacées, tribu Pinée, genre Pinus, sous-genre Pinus, section Ponderosa-Banksiana, sous-section Banksiana.

C'est un arbre pouvant atteindre 50 m de haut, à écorce brun foncé, 5 à 10 cotylédons, aiguilles fasciculées par 3 ou par 2, de 10 à 20 cm de long, vert brillant avec des denticulations très fines sur les bords, stomates en plusieurs lignes sur les trois faces de la feuille. Graines de 5 à 10 mm de long. Poids de 1 000 graines : 20 à 37 g (DEBAZAC, 1964, DALLIMORE et JACKSON, 1961, CORTES, 1963, DE FERRE, 1952).

La grande variabilité des caractères morphologiques de l'espèce a été l'origine d'une synonymie extensive, ce qui, dans quelques cas, a provoqué des confusions. FIELDING (1953) cite les synonymes suivants : Pinus californiana Loiseleur ; P. tuberculata D. Don ; P. insignis Dougl. ; P. radiata Don ; P. insignis macrocarpa Hartweg. DALLIMORE et JACKSON (1961) mentionnent les synonymes : Pinus adunca Bosc ; P. californiana Loiseleur ; P. insignis Dougl. ; P. montereyensis Rauch ; P. tuberculata D. Don. Le nom P. insignis a été plus largement utilisé que P. radiata dans le passé, et par suite, quelques botanistes et forestiers ont pensé qu'ils correspondaient à deux espèces différentes.

Plusieurs variétés ont été reconnues par différents auteurs. DALLIMORE et JACKSON (1961) citent deux variétés : P. radiata var. aurea Hort, à feuilles dorées, créée en Nouvelle-Zélande et P. radiata var. binata Hort, comportant des fascicules à deux aiguilles qui se trouve dans l'île de Guadalupe (Mexique). FIELDING (1953) mentionne les variétés suivantes : P. radiata Don var. binata (Engelm) Howell, et P. radiata Don

var. guadalupensis Howell, toutes les deux trouvées dans l'île de Guadalupe. WRIGHT (1963) cite Pinus remorata Mason comme synonyme de P. radiata var. binata Howell.

Actuellement, tous les synonymes ont été réduits au premier nom légitime : Pinus radiata D. Don et on ne reconnaît qu'une seule variété : P. radiata var. binata Howell (FORDE, 1964).

Pinus radiata D. Don s'hybride naturellement avec P. attenuata Lemm. Des hybrides artificiels ont été créés à Placerville (Californie), entre P. radiata, P. attenuata et P. muricata D. Don (78) (2). En Corée du Sud, on a obtenu des hybrides entre P. radiata et P. rigida Mill. (16). Les hybrides naturels de P. radiata et P. attenuata se produisent à Año Nuevo Point, à quelque 70 km de San Francisco (Californie). P. radiata et P. attenuata poussent près de la mer, tandis que P. muricata ne s'y trouve jamais spontanément (57).

DE LA PUENTE (1960) a étudié l'hybridation entre P. radiata D. Don et P. attenuata Lemm., utilisant des caractères des feuilles et des cônes. Selon ses observations, un degré modéré d'hybridation et introgression s'est produit dans Año Nuevo Point où P. radiata et P. attenuata superposent leurs aires. Il y a probablement un écoulement de gènes du dernier vers P. radiata, plus important que dans le sens opposé, dû vraisemblablement à une période de libération du pollen plus précoce chez P. attenuata.

En Australie et en Nouvelle-Zélande, les hybrides entre P. radiata et P. attenuata sont produits artificiellement et à Placerville (Californie), on a fait des hybrides pour combiner la croissance rapide de P. radiata à la rusticité de P. attenuata dans cette station (78).

L'espèce, dans son aire naturelle, se trouve sur le littoral de la Californie centrale (Swanton, Baie de Monterey) et dans quelques îles de ce littoral (Santo Rosa, Santa Cruz, Guadalupe, Cedros), au large des côtes de la Baja California (Mexique), (DEBAZAC, 1964 ; WRIGHT, 1963).

3 - REVISION BIBLIOGRAPHIQUE

31 - PROVENANCES NATURELLES

L'existence, dans l'aire naturelle du pin de Monterey, de populations de cette espèce, très bien différenciées, a été signalée par FIELDING (1953). Selon lui, il y aurait trois populations distinctes en Californie continentale, et un peuplement composé de bouquets d'arbres, sur l'île de Guadalupe, au large de la côte californienne du Mexique. Les provenances continentales seraient, du Nord au sud, Swanton, Monterey et Cambria.

Pour BANNISTER (1965), il existerait cinq provenances de pin de Monterey dans son aire naturelle : Año Nuevo Point, Monterey et Cambria, sur le continent, et Guadalupe et Cedros, sur les îles du littoral, (4) (5) Selon lui :

"il semble avoir potentiellement cinq provenances naturelles différentes de P. radiata, chacune morphologiquement différentes des autres".

FORDE (1964) qui a étudié d'une façon très approfondie la variabilité des populations continentales du pin de Monterey, reconnaît fermement l'existence de trois provenances se trouvant sur le continent de la Californie.

a) Año Nuevo Point, située sur la côte de la Baie Año Nuevo, à une latitude de $37^{\circ} 05' N$ et à une longitude de $122^{\circ} 20' O$.

b) Monterey, située sur la presqu'île de Monterey, à une latitude de $36^{\circ} 35' N$ et à une longitude de $121^{\circ} 50' O$.

c) Cambria, située à 140 km, au sud de Monterey, à une latitude de $35^{\circ} 35' N$ et à une longitude de $121^{\circ} O$.

32 - PEUPELEMENTS ARTIFICIELS

Comme il a déjà été dit, les peuplements artificiels occupent dans le monde une surface d'environ 800 000 ha, tandis que les peuplements naturels ne dépassent pas une surface de 5 000 ha (FIELDING, 1953). Les peuplements les plus importants se trouvent au Chili, en Nouvelle-Zélande et en Australie. Ces deux derniers pays ont depuis longtemps entrepris des études sur le comportement et les caractères des populations artificielles du pin de Monterey. FIELDING (1953, 1961) a étudié la variabilité de l'espèce dans les plantations australiennes notamment en ce qui concerne la rapidité de croissance, la résistance aux attaques d'insectes et des maladies, les caractères du bois, la forme de la tige, les caractères des cimes, la forme des branches, la floraison, les caractères des cônes et des graines et l'aptitude à l'enracinement de leurs boutures (27) (29).

BANNISTER (1954) a étudié la variabilité des cônes dans les peuplements de la Nouvelle-Zélande, la variabilité de la composition de la terpenine (BANNISTER et al., 1958) et la rapidité de croissance (BANNISTER, 1952).

Au Chili, les recherches se sont orientées vers l'étude de la variabilité des cônes et des graines (CORTES, 1963 ; LLODRÁ, 1964 ; TOHÁ, 1964).

33 - VARIABILITE DES CARACTERES MORPHOLOGIQUES

331 - Caractères des graines

FORDE (1964) a signalé que les variations de la longueur des graines et du poids des graines dans les provenances naturelles, sont plus ou moins parallèles à celles des dimensions des cônes. CORTES (1963) a établi les relations existant entre les dimensions des cônes, les dimensions des graines et la vigueur des plants d'un an. Dans les provenances naturelles continentales, la provenance Monterey a les graines les

plus légères (poids de 1 000 graines : 24,24 g), et la provenance Cambria les plus lourdes (poids de 1 000 graines : 39,82 g). De même, les graines de Monterey sont moins longues que celles de Cambria (FORDE, 1964). CORTES (1963) indique, pour les populations chiliennes de la région de Valdivia, les valeurs moyennes suivantes : poids de 1 000 graines : 31,70 g, longueur moyenne des graines : 7,5 mm.

332 - Caractères des cotylédons

Selon DE FERRE (1952) les plants de pin de Monterey ont de 5 à 10 cotylédons, qui ont une longueur de 25 à 35 mm. HICKEL (1911) mentionne pour le pin de Monterey, 5 à 9 cotylédons, d'une longueur de 35 à 45 mm. Ces deux chercheurs signalent la présence de poils sur le bord intérieur du cotylédon.

333 - Caractères des aiguilles +

FORDE (1964) a étudié en détail la variabilité des caractères foliaires dans les populations naturelles. Selon cet auteur, les populations continentales du pin de Monterey ont typiquement trois aiguilles par fascicule ++ à la différence des provenances insulaires qui ont deux aiguilles dans une proportion plus élevée. Les arbres du continent ont quand même une certaine proportion de fascicules à 2 aiguilles et on signale la présence de fascicules à 4 et 5 aiguilles sur les pousses vigoureuses (BANNISTER, 1958). La présence de fascicules à 4 et 5 aiguilles est mentionnée par HICKEL (1911) sur des plants d'un an.

Pour la longueur des aiguilles des individus adultes, FORDE (1964) indique une moyenne de 118 mm pour la provenance Monterey et de 138 mm pour la provenance Cambria. Les longueurs données par DE FERRE

+ aiguilles = pseudophylles

++ fascicules = brachyblastes. Ce sont les rameaux courts qui portent en particulier les aiguilles (19) (22) (35).

(1952) sont 55 à 105 mm pour des plants de deux ans, et de 100 à 150 mm pour les arbres adultes.

En ce qui concerne l'épaisseur des aiguilles, FORDE (1964) donne les valeurs moyennes suivantes pour des aiguilles provenant de fascicules à deux et à trois aiguilles : provenance Monterey : 0,57 mm, et provenance Cambria : 0,85 mm. Pour FORDE, l'épaisseur d'une aiguille venant d'un fascicule à deux aiguilles, est égale au rayon du fascicule, et dans les aiguilles provenant d'un fascicule à trois aiguilles, elle est égale "à la distance mesurée à partir de l'angle intérieur de l'aiguille jusqu'au milieu de la surface courbe extérieure".

L'espacement des denticulations marginales des aiguilles a une importance taxonomique très grande pour distinguer P. radiata de P. attenuata. Ces denticulations se trouvent chez le pin de Monterey, le long de tous les bords des aiguilles. DE FERRE (1952) mentionne l'existence de ces denticulations, mais n'indique pas leur espacement. FORDE (1964) a mesuré l'espacement des denticulations en fonction du nombre de dents au centimètre et trouve que la provenance Monterey a 35,5 denticulations au centimètre, et que la provenance Cambria en a 39.

Chez le pin de Monterey, on trouve les stomates disposés en rangées longitudinales sur toutes les faces de l'aiguille, mais le nombre de rangées est très variable, surtout sur la face extérieure de la feuille. FORDE (1964) signale que le nombre des lignes de stomates sur la face extérieure des aiguilles de la provenance Monterey est inférieur à celui de la provenance Cambria.

L'étude de FORDE (1964) sur les populations californiennes comporte des observations très intéressantes sur les caractères des branches, les caractères des cônes et les caractères des aiguilles, et établit la très grande différence existant entre les peuplements de Monterey et Cambria, et la situation intermédiaire de la provenance Año Nuevo Point.

Selon cet auteur :

"... en comparaison avec ceux de la provenance Monterey, les individus de la provenance Cambria ont en moyenne des cônes plus longs (...), des aiguilles plus longues et plus épaisses, des canaux résinifères moins nombreux, les denticulations marginales des aiguilles plus espacées, et des rangées de stomates plus écartées".

En outre, l'auteur signale le recouvrement existant entre les caractères des deux populations et ajoute :

"... ces deux populations (Monterey et Cambria) montrent des différences morphologiques suffisantes pour suggérer l'existence d'une divergence génétique appréciable".

34 - RESISTANCE AU FROID

La résistance au froid du pin de Monterey n'a pas encore été étudiée en détail. BANNISTER (1965) déclare néanmoins qu'à son avis, les deux provenances néozélandaises supportent mieux les gelées du printemps que les provenances naturelles, mais il n'indique pas les températures. WRIGHT (1963) signale que, dans son aire naturelle, le pin de Monterey supporte des températures de -7° C. Au Chili, les températures minima enregistrées dans la région de la provenance Concepcion sont de l'ordre de -5° C, et en Bretagne (France), les peuplements artificiels du pin de Monterey ont subi, plusieurs fois, des températures de -15° C.

La résistance au froid a été étudiée pour d'autres espèces forestières, par exemple Pinus pinaster (BOUVAREL, 1960) et Pseudotsuga douglasii Carr. (LACAZE, 1964). BOUVAREL a mis en relief l'importance des températures minima des stations d'origine pour la résistance au froid du pin maritime, et LACAZE a constaté que la résistance au froid des provenances de Douglas augmente avec l'altitude et la latitude (48).

Les relations entre la résistance au froid des arbres forestiers et les données climatiques ont été mises en évidence par LANGLET

(1937, 1959) qui a trouvé des corrélations entre la longueur de la saison de végétation du lieu d'origine et la résistance au froid chez le pin sylvestre. Il a également établi des relations entre la teneur en matière sèche des aiguilles du pin sylvestre et la résistance des plants aux dégâts produits par les basses températures. Il déclare :

"la teneur en matière sèche (des aiguilles) est une très bonne mesure de la capacité des plants pour résister à l'hibernation, elle varie parallèlement à la résistance au froid, au degré de coloration hivernale, à la rapidité du développement des bourgeons au printemps..."

35 - LES TESTS PRECOCES

En raison du facteur temps, inexorablement lié à la production forestière, les méthodes servant à prédire la valeur potentielle d'un individu à partir de ses caractères juvéniles sont essentielles pour les programmes d'amélioration des arbres. En effet, la possibilité de trouver des corrélations entre les caractères des jeunes plants et des caractères qui n'apparaissent que dans les stades ultérieurs du développement de l'arbre, rendrait facile et plus économique la sélection des individus (59) (63).

Ces tests précoces peuvent être faits pour :

- a) prédire la forme des arbres adultes
- b) pour établir les aptitudes d'adaptation des individus (résistance au froid, résistance à la sécheresse, résistance aux insectes et maladies, etc.)
- c) pour déceler très tôt les caractéristiques de la croissance et de la production des arbres adultes (8) (47) (49).

Afin que la validité du test précoce ne soit pas contestée, les corrélations entre les caractères juvéniles et le comportement à la maturité, doivent être non seulement significatives, mais aussi suffisamment élevées (63).

La mise au point de ces tests précoces qui rendent possible la diagnose rapide, sur des graines, des semis ou des jeunes plants, des caractères des arbres adultes, a été étudiée par plusieurs chercheurs. Il faut néanmoins signaler que dans le cas particulier du pin de Monterey on n'a trouvé aucune référence sur des tests précoces appliqués à cette espèce, mais on mentionne quelques travaux faits pour d'autres essences.

La fourche des fûts et la production des tiges multiples chez l'érable à sucre sont des caractères raciaux qui peuvent être décelés sur des plants de 2 ans (KRIEBEL, 1957).

BOUVAREL (1960) a trouvé des corrélations entre la température minimum des stations d'origine et la résistance au froid chez le pin maritime. LANGLET (1937) a établi des corrélations entre la teneur en matière sèche des aiguilles du pin sylvestre et la résistance au froid.

LACAZE (1962) signale la possibilité de sélectionner en pépinière les plants d'Eucalyptus gunnii (Hook) et E. cinerea (FwM) les plus résistants au froid, par détermination des caractères morphologiques des feuilles.

KRIEBEL (1963) a démontré l'existence d'une corrélation significative entre la résistance à la sécheresse et l'aptitude des jeunes plants d'érable à sucre à garder leurs feuilles pendant les périodes chaudes et sèches. La diagnose de cette aptitude est possible en serre ou en pépinière.

LACAZE et LEMOINE (1965) ont trouvé des corrélations significatives entre les hauteurs des plants de mélèze de différents âges. La hauteur des plants de deux ans et la hauteur à six ans sont des caractères fortement liés ($r = 0,904$) et les auteurs pensent qu'il est probable que cette relation soit encore valable au cours des années suivantes.

RUDEN (1963) signale la corrélation significative existant

entre le poids des graines d'épicéa et le nombre de plants de 4 ans vivants, et la corrélation entre le poids des graines et la hauteur des sujets à 11 ans.

Les liaisons entre la croissance et la date de formation du bourgeon terminal ont été établies par LANGLET (1959), BOUVAREL (1962) et KRIEBEL (1963) qui ont étudié le problème respectivement pour le pin sylvestre, l'épicéa et l'érable à sucre.

36 - LES TESTS VARIÉTAUX

La détermination de variétés faite sur les caractères des graines ou des semis permet de connaître très tôt en laboratoire ou en pépinière, l'origine du matériel à utiliser dans les reboisements.

KARSCHON (1957) a déterminé, par tests de germination, de phototropisme et de réaction photopériodique, l'origine des graines de pin sylvestre de différentes altitudes.

BOUVAREL (1962) a trouvé des corrélations entre la hauteur des plants 2-2 d'épicéa, la fréquence des deuxièmes pousses et la longueur de la saison de végétation au lieu d'origine. Ce même auteur (1961) démontre les relations existant entre la date d'entrée en dormance des plants d'épicéa et la longueur de la saison de végétation au lieu d'origine.

GIERTYCH et FARRAR (1962) ont trouvé des corrélations très élevées entre la teneur en matière sèche des plantules de Pinus banksiana Lamb et le nombre de jours avec des températures permettant la croissance au lieu d'origine.

THULIN et MILLER (1964) ont trouvé des corrélations significative entre les dimensions de la graine et l'altitude du lieu d'origine des populations de Larix decidua.

Les études de la variabilité des provenances naturelles faites notamment par FORDE (32) (33) (34), BANNISTER (3) (4) et FIELDING (27) rendent relativement faciles les tests de détermination de l'origine des peuplements du pin de Monterey, en raison des nombreux caractères dont ils ont déterminé la variabilité. Cependant, les tests variétaux doivent être faits sur le plus grand nombre possible de caractères, spécialement ceux des graines, des cônes et des aiguilles.

4 - MATERIEL UTILISE DANS L'EXPERIENCE

41 - OBTENTION DES GRAINES

Les graines utilisées dans cette expérience furent récoltées durant la période 1964-1965, à la demande de M. BOUVAREL, Directeur de la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers de Nancy, par les différentes personnes contactées, dans les pays où la culture du pin de Monterey est importante. Deux provenances naturelles et huit provenances artificielles ont été ainsi obtenues.

Les personnes qui ont fourni les graines et les quantités de graines reçues, sont les suivantes :

411 - Provenances naturelles

M. R.Z. CALLAHAM - Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station - U.S. Forest Service - Berkeley - California - U.S.A.

Quantité reçue : 0,400 kg (deux provenances).

412 - Provenances artificielles

a) M. E.K. MARSH - Forest Research Branch - Department of Forestry - Pretoria - Union Sud-Africaine.

Quantité reçue : 0,500 kg (une provenance).

b) M. M. DU MERLE - Cité administrative - Rennes (Ile-et-Vilaine) - France.

Quantité reçue : 0,480 kg (quatre provenances).

c) MM. J.M. LLODRA et J. TOHA - Escuela de Ingenieria Forestal - Facultad de Agronomia - Universidad de Chile - Santiago - Chili.

Quantité reçue : 0,600 kg (trois provenances).

Les graines ont été récoltées sur un nombre d'arbres supérieur à 10, dans des peuplements ayant une superficie d'au moins un hectare. Toutes les provenances ont été récoltées en 1965, excepté les provenances californiennes qui l'ont été en 1964.

42 - DESCRIPTION DES PROVENANCES EXPERIMENTEES

Les provenances naturelles obtenues sont Monterey et San Luis Obispo (= Cambria) (16) (*). La troisième provenance du continent, Año Nuevo Point, n'a malheureusement pas été disponible.

Les peuplements artificiels bretons sont représentés par quatre provenances : Combrit, Locunolé, L'Hôpital et Saint-Thégonnec. L'origine de ces provenances est inconnue mais il est probable qu'elles aient été importées de Californie. Elles sont, en tout cas, des provenances de première génération.

Les provenances chiliennes sont Valparaiso, Constitucion et Concepcion. Au Chili, le pin de Monterey a été introduit à la fin du siècle dernier, mais les premières grandes plantations furent effectuées vers 1935 avec des graines récoltées dans les peuplements introduits (64). Les provenances chiliennes peuvent donc être considérées comme de deuxième génération, étant donné qu'après la première introduction il n'y en a pas eu d'autres de même importance.

En Afrique du Sud, la situation est presque identique à celle du Chili, c'est-à-dire que les peuplements sont de deuxième, ou même de troisième génération (64). La provenance Lebanon, utilisée dans cette expérience, est probablement de troisième génération.

Les conditions écologiques de chaque station d'origine ont été reportées par les personnes qui ont fourni les graines. Le tableau 4a donne la description des provenances expérimentées.

(*) La provenance San Luis Obispo décrite dans cette étude correspond à la provenance Cambria, décrite par FORDE, FIELDING et BANNISTER (4) (16) (27). Le nom fourni par le récolteur a été ici retenu.

TABLEAU 4a - DESCRIPTION DES PROVENANCES EXPERIMENTEES

N°	Nom de la provenance	Code	Pays	Latitude**	Longitude	Altitude (m)	Pluiosité annuelle (mm)	Température minimum absolue (° C)
1	Valparaiso	VALP	Chili	33,06° S	71° 28' 0	80	441	+ 7,6
2	Constitution	CONS	Chili	35,33° S	72° 26' 0	70	959	- 2,0
3	Concepcion	CONC	Chili	36,83° S	73° 03' 0	100	1 320	- 5,0
4	Monterey	MONT	Californie *	36,56° N	121° 56' 0	137	425	- 4,4
5	San Luis Obispo	SNLO	Californie *	35,55° N	121° 04' 0	106	517	- 6,6
6	Combrit	COMB	Bretagne	47,83° N	4° 05' 0	10	600	- 15,0
7	Locunolé	LOCU	Bretagne	48,33° N	3° 30' 0	102	1 000	- 8,0
8	L'Hôpital	LHOP	Bretagne	47,90° N	4° 10' 0	10	850	- 10,0
9	Saint-Thégonnec	STTH	Bretagne	48,50° N	3° 45' 0	112	900	- 10,0
10	Lebanon	LEBA	Afrique du Sud	34,20° S	19° 07' E	350	625	- 1,1

* Provenances naturelles.
** Latitude en degrés et dixièmes de degré.

La situation géographique de chaque provenance est indiquée dans les figures 1, 2, 3 et 4.

43 - UTILISATION DES GRAINES ET DES SEMIS

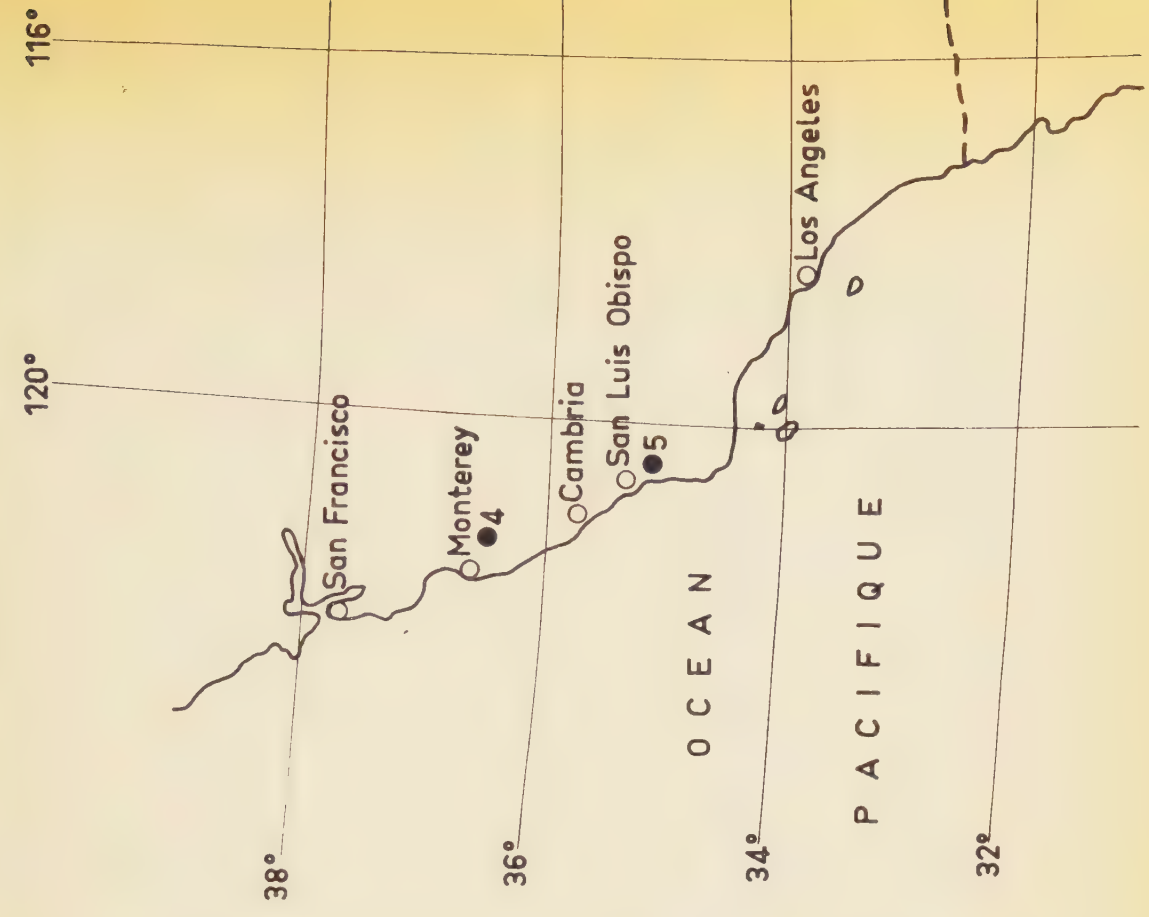
Les graines des différentes provenances ont été semées en juillet 1965 dans la serre de la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers à Nancy, après leur mise en chambre froide à $+ 4^{\circ} \text{C}$ pendant deux semaines environ. Le semis a été fait dans des sachets en polyéthylène remplis de terre de bruyère. La température de la serre a été maintenue à $+ 20^{\circ} \text{C}$ du 20 juillet au 30 octobre, et ensuite elle a été descendue à $+ 10^{\circ} \text{C}$. L'humidité relative a été maintenue entre 70 % et 90 %. Durant les mois d'hiver, la lumière nécessaire à la vie des plants a été fournie par huit lampes de 160 W, qui donnent une luminosité de 250 lux environ.

2 400 graines ont été semées, qui donnèrent 2 000 plants, répartis en 800 sachets plastiques. Toutes les mesures de l'expérience (excepté les mesures des graines, bien entendu) ont été faites sur ces plants. Au mois de novembre 1965, 240 plants ont été transportés à la pépinière d'Amance pour étudier leur comportement sous l'effet du froid ($- 7^{\circ} \text{C}$). En février 1966, 200 plants ont été pris pour étudier en chambre froide, leur comportement sous une température contrôlée de $- 10^{\circ} \text{C}$.

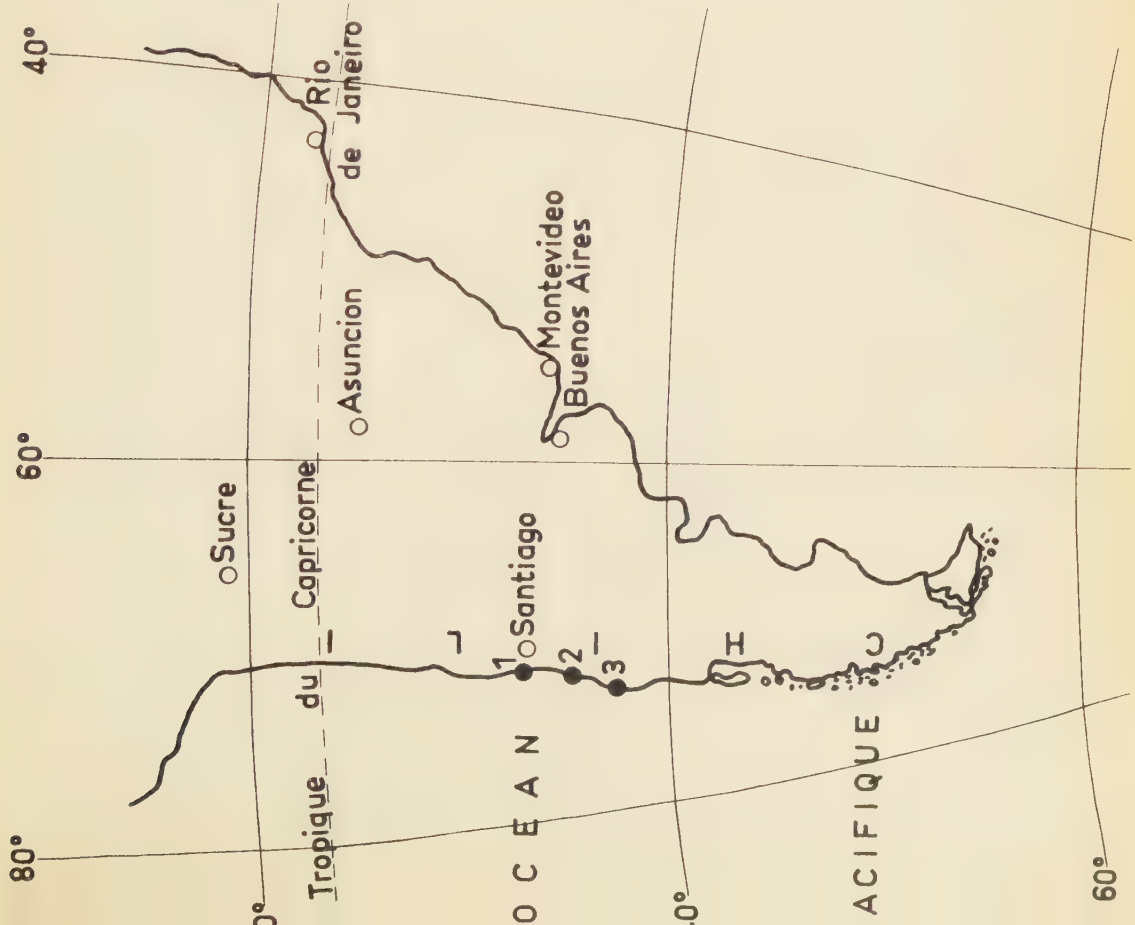
44 - MESURES EFFECTUEES

Le tableau 4b montre une liste chronologique des différentes mesures et observations faites.

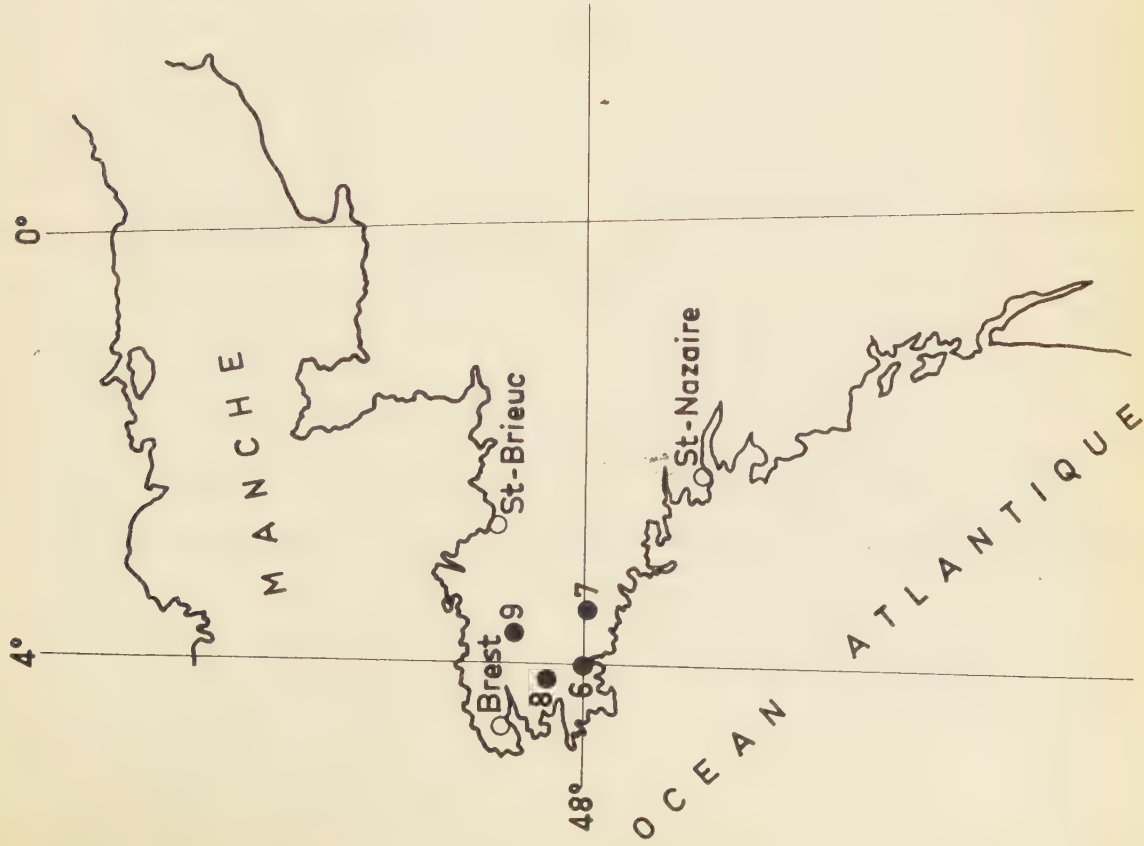
(ETATS-UNIS D'AMERIQUE)



- 4 Monterey
- 5 San Luis Obispo



- 1 Valparaiso
- 2 Constitucion
- 3 Concepcion



- 6 Combrit
- 7 Locunolé
- 8 L'Hôpital
- 9 St-Thégonnec



- 10 Lebanon

TABLEAU 4b - CHRONOLOGIE DES MESURES

Mesures effectuées	Date	Age des plants
Poids de 1 000 graines Longueur des graines Largeur des graines	Juin 1965	
Nombre de cotylédons Longueur des cotylédons Longueur de l'hypocotyle	Août 1965	1 an
Diamètre de l'hypocotyle Longueur de l'épicotyle	Novembre 1965	1 an
Résistance au froid (- 7° C)	Novembre 1965	1 an
Résistance au froid (- 10° C)	Février 1966	1 an
Longueur des aiguilles Largeur des aiguilles Nombre de denticulations marginales Pourcentage de fascicules anormaux Nombre de lignes de stomates Nombre de stomates au millimètre Matière sèche des aiguilles	Juillet 1966	2 ans
Hauteur totale des plants	Septembre 1966	2 ans

5 - ANALYSES STATISTIQUES

51 - VARIABILITE DES CARACTERES

La variabilité des caractères morphologiques pour l'ensemble des provenances de pin de Monterey a été étudiée à l'aide de l'analyse de variance à un seul facteur contrôlé.

Cette analyse a été faite par résolution de l'équation générale suivante (74) :

$$\sum_{ij} (\bar{X}_{ij} - \bar{X})^2 = \sum_i n_i (\bar{X}_{i0} - \bar{X})^2 + \sum_{ij} (X_{ij} - \bar{X}_{i0})^2$$

(i représente les provenances, j les observations et n_i les résultats des k provenances.)

Le premier membre de cette équation est la somme des carrés des écarts de toutes les observations par rapport à la moyenne générale $\bar{X}$.

Le deuxième membre se décompose en deux termes :

a) La somme pondérée des carrés des écarts de k moyennes (k = nombre de provenances) par rapport à la moyenne générale.

b) La somme des carrés des écarts de chaque observation par rapport à la moyenne de la provenance à laquelle elle appartient.

Cette analyse de variance est résumée dans le tableau 5a.

TABÉAU 5a - RESUME DE L'ANALYSE DE VARIANCE A UN
SEUL FACTEUR CONTROLE

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	$k - 1$	$Q_p = \sum_i n_i (\bar{X}_{i0} - \bar{X})^2$	$\sigma_p^2 = \frac{Q_p}{k - 1}$
Résiduelle	$N - k$	$Q_E = \sum_{ij} (X_{ij} - \bar{X}_{i0})^2$	$\sigma_E^2 = \frac{Q_E}{N - k}$
Total	$N - 1$	$Q_T = \sum_{ij} (X_{ij} - \bar{X})^2$	

L'explication des symboles est la suivante :

k : nombre de provenances

N : nombre total d'observations

Q_p : somme des carrés des provenances

Q_E : somme des carrés de l'erreur expérimentale

Q_T : somme des carrés du total

σ_p^2 : variance des provenances

σ_E^2 : variance de l'erreur.

La comparaison des moyennes, lorsque l'analyse de variance a donné des différences significatives, a été faite à l'aide du test t (68).

52 - LA RESISTANCE AU FROID

La résistance des différentes provenances aux basses températures a été évaluée par l'importance des dégâts subis par les plants, et

les résultats ont été étudiés par l'analyse de variance des blocs complets.

L'équation générale de l'analyse de variance des blocs complets est la suivante (74) :

$$\sum_{ij} (X_{ij} - \bar{X})^2 = k_p \sum_i (\bar{X}_{io} - \bar{X})^2 + k_B \sum_j (\bar{X}_{oj} - \bar{X})^2 + \sum_{ij} e_{ij}^2$$

(i représente les blocs et j les provenances)

L'explication des symboles est la suivante :

X_{ij} = observations

$\bar{X}$ = moyenne générale

k_p = nombre de provenances

$\bar{X}_{io}$ = moyennes de chaque bloc

$\bar{X}_{oj}$ = moyennes de chaque provenance

e_{ij} = combinaisons linéaires de X_{ij} .

k_B = nombre de blocs

Les moyennes des provenances ont été comparées par le test t (68).

Le premier membre est la somme des carrés des écarts de chacun des $k_p k_B$ résultats par rapport à la moyenne générale (k_p = nombre de provenances, k_B = nombre de blocs).

Le deuxième membre se décompose en trois termes.

a) La somme des carrés des écarts de chacune des moyennes de bloc par rapport à la moyenne générale

b) La somme des carrés des écarts de chacune des moyennes de provenance, par rapport à la moyenne générale

c) La somme des carrés de toutes les $k_p k_B$ combinaisons linéaires de X_{ij} (X_{ij} = une observation quelconque).

Le résumé de cette analyse de variance est montré dans le tableau 5b.

TABEAU 5b - RESUME DE L'ANALYSE DE VARIANCE A UN SEUL FACTEUR CONTROLE

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre blocs	$k_B - 1$	$Q_B = k_p \sum_i (\bar{X}_{i0} - \bar{X})^2$	$\sigma_B^2 = \frac{Q_B}{k_B - 1}$
Entre provenances	$k_p - 1$	$Q_p = k_B \sum_j (\bar{X}_{0j} - \bar{X})^2$	$\sigma_p^2 = \frac{Q_p}{k_p - 1}$
Résiduelle	$(k_B - 1)(k_p - 1)$	$Q_E = \sum_{ij} e_{ij}^2$	$\sigma_E^2 = \frac{Q_E}{(k_B - 1)(k_p - 1)}$
Total	$k_B k_p - 1$	$Q_T = \sum_{ij} (X_{ij} - \bar{X})^2$	

53 - VARIABILITE DE QUELQUES CARACTERES INFLUENCES PAR LES CONDITIONS DU MILIEU

Quelques caractères tels que le diamètre de l'hypocotyle, la longueur de l'épicotyle, la longueur des aiguilles, la largeur des aiguilles, sont susceptibles d'être modifiés par l'action du milieu et pour cela leur variabilité a été analysée par la méthode des blocs complets décrite dans le sous-chapitre 52. La comparaison des moyennes a été faite par le test t.

54 - RELATIONS ENTRE LES CARACTERES MORPHOLOGIQUES

Pour établir les liaisons qui pourraient exister entre les différents caractères morphologiques étudiés, on a fait des analyses de corrélation. Les coefficients de corrélation ont été calculés à l'aide

de la formule suivante (74) :

$$r_{xy} = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Dans la formule, $\bar{X}$ est la moyenne de toutes les observations X_i et $\bar{Y}$ est la moyenne de toutes les observations Y_i .

La signification des différents coefficients de corrélation trouvés a été testée en transformant la valeur du coefficient de corrélation r en z (66), à l'aide d'une table de z

$$z = 1/2 \left[\log_e (1 + r) - \log_e (1 - r) \right]$$

et en effectuant ensuite les déterminations suivantes :

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N - 3}} \quad \text{et} \quad \frac{z}{\sigma_z} = b$$

La signification a été trouvée dans une table de distribution normale (74).

55 - RELATIONS ENTRE LES CARACTERES MORPHOLOGIQUES, LA RESISTANCE AU FROID ET LA HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE DEUX ANS

Les liaisons entre les différentes moyennes des caractères morphologiques des provenances, les valeurs moyennes de la résistance au froid et de la hauteur totale des plants de deux ans, ont été déterminés par des analyses de corrélation et la signification des coefficients de corrélation a été testée par la même méthode, indiquée dans le sous-chapitre 54.

56 - RELATIONS ENTRE PLUSIEURS VARIABLES

Afin de connaître la liaison entre deux facteurs quelconques,

un troisième restant constant, on a calculé les coefficients de corrélation partielle correspondants.

De cette façon on a déterminé quel est le caractère le plus important, parmi le poids de 1 000 graines, le nombre de cotylédons et la longueur des cotylédons, pour la résistance au froid (à - 7° C et à - 10° C) et pour la croissance en hauteur des plants de deux ans. Les coefficients de corrélation partielle ainsi obtenus seront une mesure de l'utilité de prendre en considération un facteur additionnel, lorsqu'il s'agit de sélectionner des plants résistant au froid ou de savoir très tôt quels sont les plants qui poussent plus vite.

Les coefficients de corrélation partielle ont été calculés par la formule suivante (68) :

$$r_{xy \cdot z} = \frac{r_{xy} - (r_{xz} \cdot r_{yz})}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2) (1 - r_{yz}^2)}}$$

6 - VARIABILITE DES CARACTERES

61 - LES GRAINES

Les graines des différentes provenances ont été analysées pour déterminer leur faculté germinative et leur énergie germinative. La faculté germinative est exprimée par le pourcentage de graines germées, et l'énergie germinative par la valeur du nombre de jours pendant lesquels 50 % des graines ont germé, autrement dit, par la médiane (tableau 6a). Ces valeurs n'ont pas été l'objet d'une analyse de variance.

TABLEAU 6a - FACULTE GERMINATIVE ET ENERGIE GERMINATIVE
DES DIFFERENTES PROVENANCES

N°	Provenance	Faculté germinative (%)	Energie germinative (médiane en jours)
1	VALP	80,8	11,00
2	CONS	83,3	10,00
3	CONC	92,1	7,65
4	MONT	68,3	17,74
5	SNLO	50,0	32,00
6	COMB	92,9	8,00
7	LOCU	85,8	8,22
8	LHOP	90,0	7,61
9	STTH	87,5	8,33
10	LEBA	59,6	13,90

611 - Poids de 1 000 graines

Le poids de 1 000 graines a été obtenu par prélèvement au hasard de 10 échantillons dans chaque provenance, chaque échantillon com-

portant 100 graines. L'analyse de variance est donnée dans le tableau 6b.

TABEAU 6b - ANALYSE DE VARIANCE POUR LE POIDS DE 1 000 GRAINES

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	19,750	2,194
Résiduelle	90	14,864	0,165
Total	99	34,614	

Le test F de Snedecor indique que l'ensemble des moyennes des provenances sont significativement différentes.

$$F_p = 13,29 \text{ (significatif au seuil } 0,01).$$

La valeur de la plus petite différence significative au seuil 0,01 entre deux moyennes de provenances quelconques, obtenue par le test t, est égale à 0,471. Le tableau 6c montre le classement des provenances et les groupes qui sont significativement différents au seuil 0,01.

TABEAU 6c - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DU POIDS DE 1 000 GRAINES (*)

Provenances	SNLO	STTH	CONC	COMB	CONS	VALP	LOCU	LEBA	LHOP	MONT
Moyennes (g)	3,52	3,28	3,25	3,16	3,08	2,91	2,65	2,64	2,51	1,93

(*) Les crochets renferment les groupes qui n'ont pas de différences significatives au seuil 0,01.

612 - Longueur des graines

100 graines par provenance ont été prises au hasard pour mesurer leurs longueurs. Ces mesures ont été faites à l'aide d'un pied à coulisse en acier, à 0,1 mm près.

Les résultats des observations ont été analysés par l'analyse de variance indiquée dans le tableau 6d.

TABLEAU 6d - ANALYSE DE VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES GRAINES

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	267,45	29,72
Résiduelle	990	553,53	0,559
Total	999	820,98	

Le test F indique une très forte différence significative pour l'ensemble des moyennes des provenances.

$$F_p = 53,16 \text{ (significatif au seuil } 0,01).$$

Le test t donne une plus petite différence significative, au seuil 0,01 de 0,273, entre deux moyennes quelconques. Le tableau 6e indique le groupe de provenances, résultant du classement par ordre décroissant des moyennes, ainsi que les provenances qui sont significativement différentes au seuil 0,01.

TABLEAU 6e - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DE LA LONGUEUR DES GRAINES

Provenances	SNLO	CONC	STTH	VALP	CONS	COMB	LOCU	LEBA	LHOP	MONT
Moyennes(mm)	7,32	7,71	7,40	7,21	7,16	7,12	7,11	6,63	6,57	5,99

613 - Largeur des graines

Pour obtenir les valeurs de la largeur moyenne des graines par provenance, on a utilisé la méthode indiquée au paragraphe 612.

L'analyse de variance correspondante est indiquée dans le tableau 6f.

TABLEAU 6f - ANALYSE DE VARIANCE POUR LA LARGEUR DES GRAINES

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	7 026,88	780,76
Résiduelle	990	16 555,52	16,72
Total	999	23 582,40	

Le test F indique une très grande différence significative pour l'ensemble des moyennes des provenances.

$$F_p = 46,69 \text{ (significatif au seuil 0,01)}$$

Le test t donne une plus petite différence significative de 1,56 pour deux provenances quelconques. Le tableau 6g montre le classement des provenances par ordre décroissant de leurs moyennes, et les différents groupes de provenances dont les moyennes sont significativement différentes.

TABEAU 6g - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DE LA LARGEUR DES GRAINES

Provenances	SNLO	STTH	VALP	COMB	CONC	CONS	LEBA	LOCU	LHOP	MONT
Moyennes (mm)	4,42	4,38	4,33	4,27	4,20	4,16	4,04	3,92	3,92	3,50

62 - LES COTYLEDONS

621 - Nombre de cotylédons

Le nombre de cotylédons de 100 plants pris au hasard, à l'intérieur de chaque provenance, a été déterminé. Les résultats ont été analysés à l'aide de l'analyse de variance figurant dans le tableau 6h.

TABEAU 6h - ANALYSE DE VARIANCE POUR LE NOMBRE DE COTYLEDONS

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	117,67	13,07
Résiduelle	990	954,56	0,96
Total	999	1 072,23	

Le test F démontre l'existence de différences très significatives pour l'ensemble des provenances.

$$F_p = 13,61 \text{ (significatif au seuil } 0,01).$$

La valeur de la plus petite différence significative au seuil 0,01, entre deux moyennes de provenances quelconques, obtenue par le test t, est égale à 0,358. Le tableau 6i présente le classement des provenances et les groupes qui sont significativement différents.

TABEAU 6i - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DU NOMBRE DE COTYLEDONS

Provenances	COMB	STTH	CONS	SNLO	CONC	VALP	LEBA	LOCU	LHOP	MONT
Moyennes	7,42	7,31	7,30	7,29	7,25	7,23	7,05	6,87	6,83	6,21

622 - Longueur des cotylédons

Dans l'échantillon pris pour déterminer le nombre de cotylédons (voir paragraphe 621), on a prélevé le cotylédon le plus long de chaque plant, et on a mesuré sa longueur. 100 observations ont donc été faites par provenance.

L'analyse de variance se rapportant à ce caractère est donnée dans le tableau 6j.

TABEAU 6j - ANALYSE DE VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES COTYLEDONS

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	10 978,90	1 219,87
Résiduelle	990	17 731,04	17,91
Total	999	28 709,94	

Le test F montre que les différences entre les moyennes de provenances sont significatives.

$$F_p = 68,11 \text{ (significatif au seuil } 0,01).$$

La limite de signification entre deux provenances quelconques, calculée par le test t, est 1,54. Deux provenances seront significativement

différentes, au seuil 0,01, lorsque la différence de leurs moyennes dépassera cette limite. Le tableau 6k indique le classement des provenances.

TABEAU 6k - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DE LA LONGUEUR DES COTYLEDONS

Provenances	SNLO	CONS	STTH	CONC	VALP	COMB	LHOP	LEBA	LOCU	MONT
Moyennes (mm)	49,05	47,15	46,85	45,61	44,80	44,55	42,15	40,95	39,55	38,50

623 - Nombre de poils dans le premier centimètre de la partie basale des cotylédons

Les cotylédons du pin de Monterey possèdent, sur le bord intérieur, des pilosités minuscules, irrégulièrement espacées. Pour déterminer la variabilité de ce caractère, 10 cotylédons par provenance ont été pris, au hasard, afin de mesurer le nombre de poils existant sur le premier centimètre, compté à partir de la base du cotylédon. Une analyse de variance a été faite dont les résultats figurent dans le tableau 61.

TABEAU 61 - ANALYSE DE VARIANCE POUR LE NOMBRE DE POILS
AU CENTIMETRE SUR LES COTYLEDONS

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	56,04	6,226
Résiduelle	90	429,40	4,771
Total	99	485,44	

Le test F n'a pas donné de différences significatives pour l'ensemble des provenances, en ce qui concerne le caractère étudié.

$F_p = 1,304$ (inférieur à $F = 1,98$, valeur qui correspond à DL_1 (9) et DL_2 (90), au seuil 0,05).

Le tableau 6m présente les valeurs moyennes par provenance.

TABLEAU 6m - NOMBRE MOYEN DE POILS SUR LE PREMIER CENTIMETRE
A LA BASE DU COTYLEDON

Provenance	Nombre moyen de poils
STTH	5,1
COMB	4,9
LHOP	4,6
VALP	3,9
SNLO	3,8
LCCU	3,5
MONT	3,4
CONS	3,3
LEBA	3,2
CONC	2,7

63 - L'HYPOCOTYLE *

631 - Diamètre de l'hypocotyle, à la fin de la première saison de végétation

Pour étudier la variabilité du diamètre de l'hypocotyle mesuré à la fin de la première période de végétation, un dispositif de 20 blocs au hasard a été établi. Chaque provenance, à l'intérieur d'un bloc quelconque, était représentée par un seul plant, de telle sorte qu'il y

* L'hypocotyle est la partie du plant qui se trouve entre le collet et le point d'insertion des cotylédons (19).

avait 20 plants par provenance. Le diamètre a été mesuré sur la section moyenne de l'hypocotyle, avec un pied à coulisse en acier. Les résultats ont été exprimés en dixièmes de millimètre.

L'analyse de variance est indiquée dans le tableau 6n.

TABEAU 6n - ANALYSE DE VARIANCE POUR LE DIAMETRE DE L'HYPOCOTYLE

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre blocs	19	88,10	4,64
Entre provenances	9	89,50	9,94
Résiduelle	171	773,90	4,52
Total	199	951,50	

Le test F indique qu'il existe des différences significatives pour l'ensemble des provenances seulement au seuil 0,05, la valeur de F au seuil 0,01 étant égale à 2,52 environ.

$$F_p = 2,20.$$

La limite de signification entre deux provenances quelconques, calculée par le test t, est 1,32. Le tableau 6o indique les groupes de provenances dont les moyennes ne sont pas significativement différentes, ainsi que le classement des provenances par ordre décroissant selon leurs moyennes.

TABEAU 6o - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT SELON LES MOYENNES DU DIAMETRE DE L'HYPOCOTYLE

Provenances	COMB	CONC	CONS	VALP	SNLO	LHOP	STTH	LOCU	LEBA	MONT
Moyennes (mm)	1,52	1,51	1,46	1,45	1,44	1,43	1,42	1,38	1,34	1,29

632 - Longueur de l'hypocotyle

Pour avoir une mesure précise de la longueur de l'hypocotyle, il a fallu arracher les plants, en raison de la difficulté de déterminer sur les plants en pépinière la situation exacte du collet, ceci étant évidemment plus facile à faire sur une table de laboratoire et à l'aide d'une loupe. On a donc choisi au hasard 50 plants par provenance et on a mesuré les longueurs de leurs hypocotyles, à 1 mm près.

Les résultats ont été analysés à l'aide de l'analyse de variance (tableau 6p).

TABEAU 6p - ANALYSE DE VARIANCE POUR LA LONGUEUR DE L'HYPOCOTYLE

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	4 779,54	531,06
Résiduelle	490	8 361,46	17,06
Total	499	13 141,00	

Le test F indique l'existence de différences significatives entre les provenances, au seuil 0,01.

$$F_p = 31,13.$$

Deux provenances sont significativement différentes au seuil 0,01, lorsque leurs moyennes dépassent une différence de 2,23 calculée par le test t. Le tableau 6q donne le classement des provenances et les groupes qui sont significativement différents.

TABEAU 6q - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DE LA LONGUEUR DE L'HYPOCOTYLE

provenances	STTH	LHCP	COMB	CONC	LOCU	SNLO	CONS	LEBA	VALP	MONT
oyennes (mm)	41,44	40,74	40,06	39,92	39,22	38,74	37,06	35,74	35,02	30,82

64 - L'EPICOTYLE *

641 - Longueur de l'épicotyle

Ce caractère a été étudié sur un dispositif de 20 blocs au hasard. On a mesuré la longueur de l'épicotyle à la fin de la première saison de végétation, à 0,1 mm près.

L'analyse de variance est donnée dans le tableau 6r.

TABEAU 6r - ANALYSE DE VARIANCE POUR LA LONGUEUR DE L'EPICOTYLE

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre blocs	19	11 498,67	605,19
Entre provenances	9	3 814,94	423,88
Résiduelle	171	59 309,87	346,84
Total	199	74 623,48	

Le test F montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les provenances.

* L'épicotyle est la partie du plant qui se trouve entre le point d'insertion des cotylédons et l'extrémité de la tige (19).

Le tableau 6s indique les valeurs moyennes par provenance.

TABEAU 6s - LONGUEUR MOYENNE DE L'EPICOTYLE PAR PROVENANCE

Provenance	Longueur moyenne de l'épicotyle (mm)
CONC	79,26
VALP	75,60
CONS	72,45
COMB	72,00
MONT	69,20
STTH	67,05
LOCU	67,00
LEBA	66,70
SNLO	66,47
LHOP	65,31

65 - LES AIGUILLES

651 - Longueur des aiguilles

Un dispositif de cinq blocs complets a servi pour étudier la variabilité entre provenances de la longueur des aiguilles. 50 aiguilles par plant, prélevées sur des fascicules à trois aiguilles, ont été prises sur le tiers supérieur de la tige.

Les résultats des mesures sont analysés dans le tableau 6t.

TABLEAU 6t - ANALYSE DE VARIANCE POUR LA LONGUEUR DES AIGUILLES

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre blocs	4	175,16	43,79
Entre provenances	9	6 721,72	746,86
Résiduelle	36	7 179,46	199,43
Total	49	14 076,34	

Le test F indique l'existence de différences significatives au seuil 0,01, pour l'ensemble des provenances.

$$F_p = 3,745.$$

Le test t donne une limite de signification de 24,07 au seuil 0,01. Deux provenances sont alors significativement différentes lorsque la différence entre leurs moyennes dépasse la limite précitée.

Le tableau 6u montre le classement des provenances par ordre décroissant selon les longueurs moyennes de leurs aiguilles et les groupes de provenances qui ne sont pas significativement différents.

TABLEAU 6u - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DE LA LONGUEUR DES AIGUILLES

Provenances	LOCU	VALP	COMB	STTH	LHOP	CONS	LEBA	CONC	SNLO	MONT
Moyennes (mm)	81,02	71,56	69,92	68,68	67,56	65,54	61,90	55,38	48,58	39,94

652 - Largeur des aiguilles

10 aiguilles par provenance ont été prises au hasard, pour déterminer leurs largeurs. Chaque aiguille a été prélevée uniquement sur un fascicule comportant 3 aiguilles, afin de rendre comparable les sections des aiguilles. La mesure a été faite au milieu de chaque aiguille, à l'aide d'une loupe à lentille micrométrique.

L'analyse de variance correspondant à ce caractère est donnée dans le tableau 6v.

TABIEAU 6v - ANALYSE DE VARIANCE POUR LA LARGEUR DES AIGUILLES

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	115,73	12,86
Résiduelle	90	249,14	3,27
Total	99	364,87	

Le test F montre l'existence de différences significatives, au seuil 0,01, pour l'ensemble des provenances.

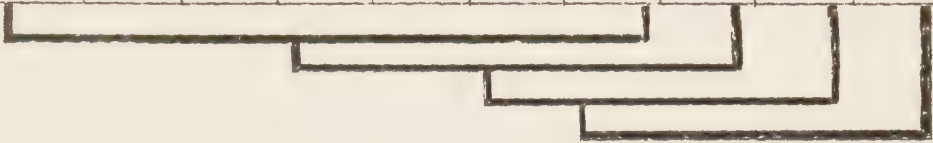
$$F_p = 3,93.$$

Le test t donne une limite de signification, au seuil 0,01, de 2,12. La différence entre les moyennes de deux provenances quelconques devra donc dépasser cette limite pour qu'elles soient considérées significativement différentes.

Le tableau 6w montre le classement des provenances et les groupes qui ne sont pas significativement différents.

TABEAU 6w - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DE LA LARGEUR DES AIGUILLES

Provenances	VALP	STTH	CONC	COMB	LOCU	LEBA	CONS	MONT	SNLO	LHOP
Moyennes	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,67	0,67	0,65	0,63	0,62



653 - Nombre de denticulations des bords des aiguilles

La même procédure que celle utilisée pour la largeur des aiguilles a été employée pour déterminer le nombre de denticulations existant sur un des deux bords extérieurs de chaque aiguille. On a compté le nombre de denticulations par millimètre, au milieu de l'aiguille, à l'aide de la loupe et de la lentille micrométrique.

L'analyse de variance se trouve dans le tableau 6x.

TABEAU 6x - ANALYSE DE VARIANCE POUR LE NOMBRE DE DENTICULATIONS
DES BORDS DES AIGUILLES

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	11	1,22
Résiduelle	90	28	0,31
Total	99	39	

Le test F indique l'existence de différences significatives entre les provenances, au seuil 0,01.

$$F_p = 3,9\%.$$

Le test t donne une limite de signification, au seuil 0,01, de 0,66. Deux provenances sont alors significativement différentes, si leurs moyennes dépassent une différence de 0,66.

Le tableau 6y montre la variation de ce caractère et le classement des provenances par ordre décroissant du nombre de denticulations au millimètre. Les groupes significativement différents sont également donnés.

TABLEAU 6y - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DU NOMBRE DE DENTICULATIONS
DES BORDS DES AIGUILLES

Provenances	CONS	VALP	LEBA	STTH	LOCU	MONT	COMB	LHOP	CONC	SNLO
Moyennes (nombre/mm)	3,86	3,43	3,29	3,00	3,00	3,00	2,86	2,71	2,57	2,43

654 - Pourcentage de fascicules anormaux

Si on considère que pour le pin de Monterey, le nombre normal d'aiguilles par fascicule est de 3 (et éventuellement 2), les fascicules à 4, 5 et même 6 aiguilles seraient alors des fascicules anormaux. Ayant remarqué que la majorité des fascicules des plants de l'expérience étaient "anormaux" (l'idée d'anormalité ne serait donc pas tout à fait exacte, du moins en ce qui concerne les jeunes plants), on a étudié la variabilité de ce caractère. On a compté le nombre de fascicules anormaux sur 10 fascicules pris au hasard dans les 10 centimètres de la partie supérieure de la tige des plants disposés en 5 blocs au hasard. Les pourcentages ainsi obtenus ont été transformés en arc sinus. Les angles transformés ont été soumis à l'analyse de variance indiquée dans le tableau 6z.

TABLEAU 6z - ANALYSE DE VARIANCE POUR LE POURCENTAGE DE FASCICULES
ANORMAUX (4 à 6 aiguilles par fascicule)

66 - LES STOMATES661 - Nombre de lignes de stomates

Les stomates chez le pin de Monterey sont disposés en lignes sur toutes les faces de l'aiguille, le nombre de lignes longitudinales étant un caractère variable. Pour étudier la variabilité de ce caractère, 10 aiguilles par provenance ont été prélevées au hasard et on a compté le nombre de lignes de stomates sur la face extérieure, au milieu de chaque aiguille. Les aiguilles ont toujours été prises sur des fascicules composés de 3 aiguilles.

L'analyse de variance est donnée dans le tableau 6ab.

TABLEAU 6ab - ANALYSE DE VARIANCE POUR LE NOMBRE
DE LIGNES DE STOMATES

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	12,98	1,44
Résiduelle	90	40,29	0,45
Total	99	53,27	

Le test F montre l'existence de différences significatives, au seuil 0,01, entre les provenances.

$$F_p = 3,20.$$

La limite de signification pour la différence de deux moyennes quelconques, calculée par le test t, est 0,789. Le tableau 6ac montre le classement des provenances, la variabilité du caractère et les groupes significativement différents.

TABLEAU 6ac - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
SELON LES MOYENNES DU NOMBRE DE LIGNES DE STOMATES

Provenances	STTH	CONC	CONS	SNLO	VALP	LOCU	MONT	LHOP	COMB	LEBA
Moyennes	5,14	4,86	4,71	4,71	4,71	4,43	4,14	4,00	3,86	3,86

662 - Nombre de stomates au millimètre

Le nombre moyen de stomates au millimètre, par provenance, a été déterminé à l'aide d'une loupe comportant une lentille micrométrique. On a pris le même échantillon d'aiguilles que celui utilisé pour déterminer le nombre de lignes de stomates, et on a compté, sur une des lignes extérieures de chaque aiguille, le nombre de stomates se trouvant sur la longueur d'un millimètre.

L'analyse de variance correspondant à ce caractère est indiquée dans le tableau 6ad.

TABLEAU 6ad - ANALYSE DE VARIANCE POUR LE NOMBRE DE STOMATES
AU MILLIMETRE

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre provenances	9	9,29	1,032
Résiduelle	90	48,73	0,541
Total	99	58,02	

Le test F indique qu'il n'y a pas de différences significatives entre les moyennes des provenances.

$$F_p = 1,91.$$

Le tableau 6ac donne les valeurs moyennes de chaque provenance.

TABLEAU 6ac - NOMBRE MOYEN DE STOMATES PAR MILLIMETRE

Provenance	Nombre moyen de stomates par millimètre
CONC	9,27
LHOP	9,10
COMB	9,06
CONS	8,88
LEBA	8,87
VALP	8,86
LOCU	8,68
MONT	8,46
STTH	8,17
SNLO	8,14

67 - MATIERE SECHE DES AIGUILLES

Pour étudier la variabilité de ce caractère entre les provenances du pin de Monterey, un dispositif de 10 blocs complets a été établi. Sur le tiers inférieur de la tige de chaque plant, on a prélevé 10 fascicules de la première année afin d'avoir des aiguilles ayant résisté au froid de 1965. Cette opération a été faite en juillet 1966. Les fascicules ont été placés dans des vases à peser, dont le poids vide avait été déterminé auparavant. Lorsque le poids frais de chaque plant a été connu, tous les vases ont été mis dans une étuve, à 70° C pendant 24 heures ; ensuite, on a déterminé le poids sec.

La teneur en matière sèche de chaque plant a été obtenue par la formule :

$$M S \% = \frac{\text{Poids sec}}{\text{Poids frais}}$$

Les résultats, transformés en angles, ont été l'objet de l'analyse de variance se trouvant dans le tableau 6af.

TABLEAU 6af - ANALYSE DE VARIANCE POUR LA MATIERE SECHE
DES AIGUILLES

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre blocs	9	95,34	10,59
Entre provenances	9	123,43	13,71
Résiduelle	81	1 116,95	13,79
Total	99	1 335,72	

Le test F ne montre aucune différence significative entre les provenances, pour le caractère teneur en matière sèche des aiguilles. Néanmoins, il faut remarquer que la détermination de cette valeur a été faite, par souci de temps, en plein été, et qu'il a été difficile d'avoir des résultats plus frappants. En effet, c'est à la fin de l'automne que les plants accusent des différences plus fortes en ce qui concerne le caractère étudié.

Le tableau 6ag montre les différentes valeurs des pourcentages moyens de matière sèche par provenance.

TABLEAU 628 - TENEUR EN MATIERE SECHE DES AIGUILLES PAR PROVENANCE

Provenance	Teneur en matière sèche des aiguilles (%)
CONS	27,73
SNLO	26,39
COMB	26,38
VALP	26,04
LHOP	25,72
LOCU	25,63
CONC	25,52
LEBA	24,74
STTH	23,20
MONT	22,29

68 - HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE DEUX ANS

Un dispositif de 20 blocs complets a été utilisé pour étudier la variabilité entre provenances, de la hauteur totale des plants de deux ans. Les mesures ont été faites à la fin du mois de septembre 1966. La hauteur totale a été mesurée à partir du collet.

Les résultats sont analysés dans l'analyse de variance au tableau 6ah.

7 - RESISTANCE AU FROID

71 - A LA PEPINIERE D'AMANCE - TEMPERATURE MINIMUM : - 7° C

Pour étudier la résistance des différentes provenances du pin de Monterey aux dégâts provoqués par les températures extrêmement basses, un dispositif de 24 blocs complets a été installé à la pépinière d'Amance (à 15 km à l'est de Nancy) pendant l'automne 1965.

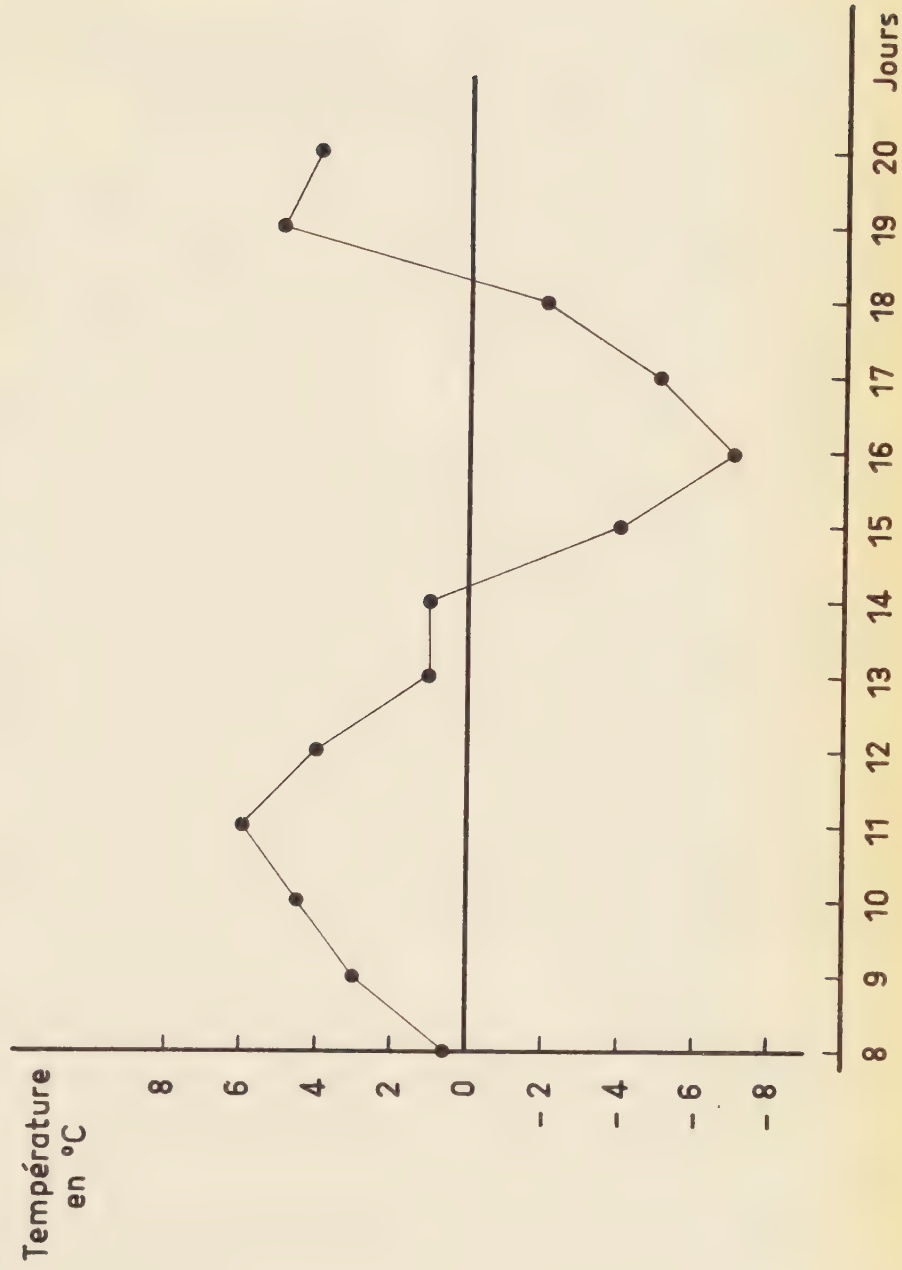
Les jours 14, 15, 16 et 17 novembre, les plants ont subi des températures qui sont allées jusqu'à - 7° C (graphique 7-1), ce qui a provoqué immédiatement des dégâts dans les différentes provenances. Une échelle de notation de 6 points a été établie pour évaluer les dégâts produits par le froid sur le feuillage des plants.

TABEAU 7a - NOTATION POUR L'EVALUATION DES DEGATS PRODUITS
PAR UNE TEMPERATURE DE - 7° C SUR LE FEUILLAGE

Degré du dégât	Nature des dégâts
5	Le plant est complètement vert, non endommagé.
4	Les extrémités des feuilles sont gelées, mais le reste du plant est vert.
3	Les aiguilles sont complètement gelées, mais la tige est verte.
2	La moitié du plant est gelée.
1	Les trois-quarts du plant sont gelés.
0	Le plant est complètement gelé.

Après avoir fait l'évaluation des dégâts, les plants ont été remis en serre dans des conditions de températures permettant la crois-

TEMPERATURES MINIMA ENREGISTREES A LA PEPINIERE D'AMANCE
A 20 CM DU SOL
(Période du 8 au 20 Novembre 1965)



On remarque déjà les positions des deux provenances californiennes. San Luis Obispo prouve qu'elle est plus résistante au froid que les autres ; Monterey, par contre, est la plus sensible. Il est intéressant de noter aussi que deux provenances bretonnes, Saint-Thégonnec et Combrit, et une provenance chilienne, Constitucion, se trouvent parmi les plus résistantes.

Afin de déterminer si l'échelle de notation utilisée était une bonne estimation de la résistance au froid, une étude de corrélation a été faite entre les degrés établis par l'échelle et le pourcentage des survivants dans chaque catégorie de dégâts. Le coefficient de corrélation obtenu r , est égal à $+0,99$, significativement différent de 0, avec une probabilité de 0,001. L'échelle de notation est donc une assez bonne estimation des dégâts que le froid produit sur les plants.

72 - EN CHAMBRE FROIDE - TEMPERATURE MINIMUM : -10°C

Au mois de février 1966, un dispositif de 20 blocs complets a été établi pour étudier le comportement des plants de pin de Monterey sous une température de -10°C . Cette expérience a été effectuée dans la chambre froide de la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers de Nancy, avec des plants ayant supporté une période d'acclimatation d'environ quatre semaines, à des températures allant de $+4^{\circ}\text{C}$ à $+10^{\circ}\text{C}$. Le temps d'exposition au froid a été de 15 heures. Ensuite, les plants ont été remis à l'extérieur, à une température d'environ $+10^{\circ}\text{C}$.

En raison de la nature différente des dégâts produits par la température de la chambre froide sur les plants, l'échelle de notation n'a pas été la même que celle utilisée pour l'évaluation des dégâts provoqués par la température -7°C (tableau 7d).

TABLEAU 7d - NOTATION DES DEGATS PROVOQUES DANS LE FEUILLAGE
DES PLANTS PAR UNE TEMPERATURE DE - 10° C

Degré du dégât	Nature des dégâts
4	Plant entièrement vert, non endommagé.
3	Le feuillage est complètement gelé, mais la tige reste verte.
2	L'extrémité supérieure du plant est verte, le reste est gelé.
1	Le plant est entièrement gelé, excepté la partie inférieure de la tige.
0	Plant complètement gelé.

Les résultats ont été analysés par l'analyse de variance donnée dans le tableau 7e.

TABLEAU 7e - ANALYSE DE VARIANCE POUR LES DEGATS PRODUITS
PAR UNE TEMPERATURE DE - 10° C

Origine de la variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen
Entre blocs	19	11,655	0,613
Entre provenances	9	56,305	6,256
Résiduelle	171	132,395	0,774
Total	199	200,355	

Le test F montre l'existence de différences significatives entre les provenances, au seuil 0,01.

$$F_p = 8,08.$$

Le test t donne une limite pour la différence significative, au seuil 0,01, entre deux provenances quelconques, de 0,725. Le tableau 7f

montre le classement des provenances et les groupes qui sont significativement différents.

TABEAU 7f - CLASSEMENT DES PROVENANCES PAR ORDRE DECROISSANT
DE LEUR RESISTANCE AU FROID (- 10° C) ET GROUPES
NON SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTS AU SEUIL 0,01

Provenances	CONS	SNLO	COMB	STTH	CONC	VALP	LOCU	LHOP	LEBA	MONT
Moyennes	3,40	3,25	3,00	2,90	2,80	2,75	2,50	2,00	2,00	1,75

Pour établir les relations qui pourraient exister entre les résultats de cette expérience et ceux de l'expérience à une température de - 7° C, une analyse de corrélation a été faite, utilisant comme variable les valeurs moyennes des dégâts produits par le froid dans les deux cas. La valeur du coefficient de corrélation r est égale à + 0,70, significativement différente de 0, au seuil 0,05.

8 - CORRELATIONS

Afin d'établir les relations existant entre quelques caractères morphologiques, la résistance au froid et la hauteur des plants de 2 ans, des analyses de corrélation ont été faites.

81 - COEFFICIENTS DE CORRELATION TOTALE

On a calculé les coefficients de corrélation totale entre les variables suivantes :

- 811 - Relations entre quelques caractères morphologiques ;
- 812 - Relations entre quelques caractères morphologiques et la résistance au froid (à - 7°C et à - 10°C) ;
- 813 - Relations entre quelques caractères morphologiques et la hauteur totale des plants de 2 ans ;
- 814 - Relations entre la résistance au froid et la hauteur totale des plants de 2 ans.

La détermination des différents coefficients a été faite en utilisant comme variables les moyennes par provenance, de chaque caractère.

Les résultats sont montrés dans le tableau 8a. Chaque coefficient a été testé pour déterminer sa signification aux seuils 0,05, 0,01 et 0,001.

Les graphiques 8-1, 8-2, 8-3, 8-4, 8-5, 8-6, 8-7, 8-8, et 8-9 montrent les relations entre les différents caractères, la résistance au froid (à - 10°C) et la hauteur totale des plants de 2 ans.

TABLEAU 8a - COEFFICIENTS DE CORRELATION SIMPLE ENTRE DIVERS
CARACTERES MORPHOLOGIQUES, LA RESISTANCE AU FROID
ET LA HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE 2 ANS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Poids de 1 000 graines	-									
2 Longueur des graines	0,95 ⁺⁺⁺	-								
3 Largeur des graines	0,94 ⁺⁺⁺	0,87 ⁺⁺⁺	-							
4 Nombre de cotylédons	0,93 ⁺⁺⁺	0,87 ⁺⁺⁺	0,94 ⁺⁺⁺	-						
5 Longueur des cotylédons	0,90 ⁺⁺⁺	0,78 ⁺⁺	0,88 ⁺⁺⁺	0,82 ⁺⁺	-					
6 Diamètre de l'hypocotyle	0,44 NS	0,25 NS	0,48 NS	0,64 ⁺	0,37 NS	-				
7 Longueur de l'hypocotyle	0,66 ⁺	0,38 NS	0,56 NS	0,63 ⁺	0,44 NS	0,49 NS	-			
8 Résistance à - 7°C	0,80 ⁺⁺	0,67 ⁺	0,77 ⁺⁺	0,77 ⁺⁺	0,80 ⁺⁺	0,24 NS	0,54 NS	-		
9 Résistance à - 10°C	0,38 ⁺⁺⁺	0,83 ⁺⁺	0,79 ⁺⁺	0,83 ⁺⁺	0,87 ⁺⁺⁺	0,39 NS	0,45 NS	0,70 ⁺	-	10
10 Hauteur totale à 2 ans	0,81 ⁺⁺	0,76 ⁺⁺	0,85 ⁺⁺	0,83 ⁺⁺	0,87 ⁺⁺⁺	0,47 NS	0,33 NS	0,54 NS	0,87 ⁺⁺⁺	-

NS Non significatif

+

Significatif au seuil 0,05

++

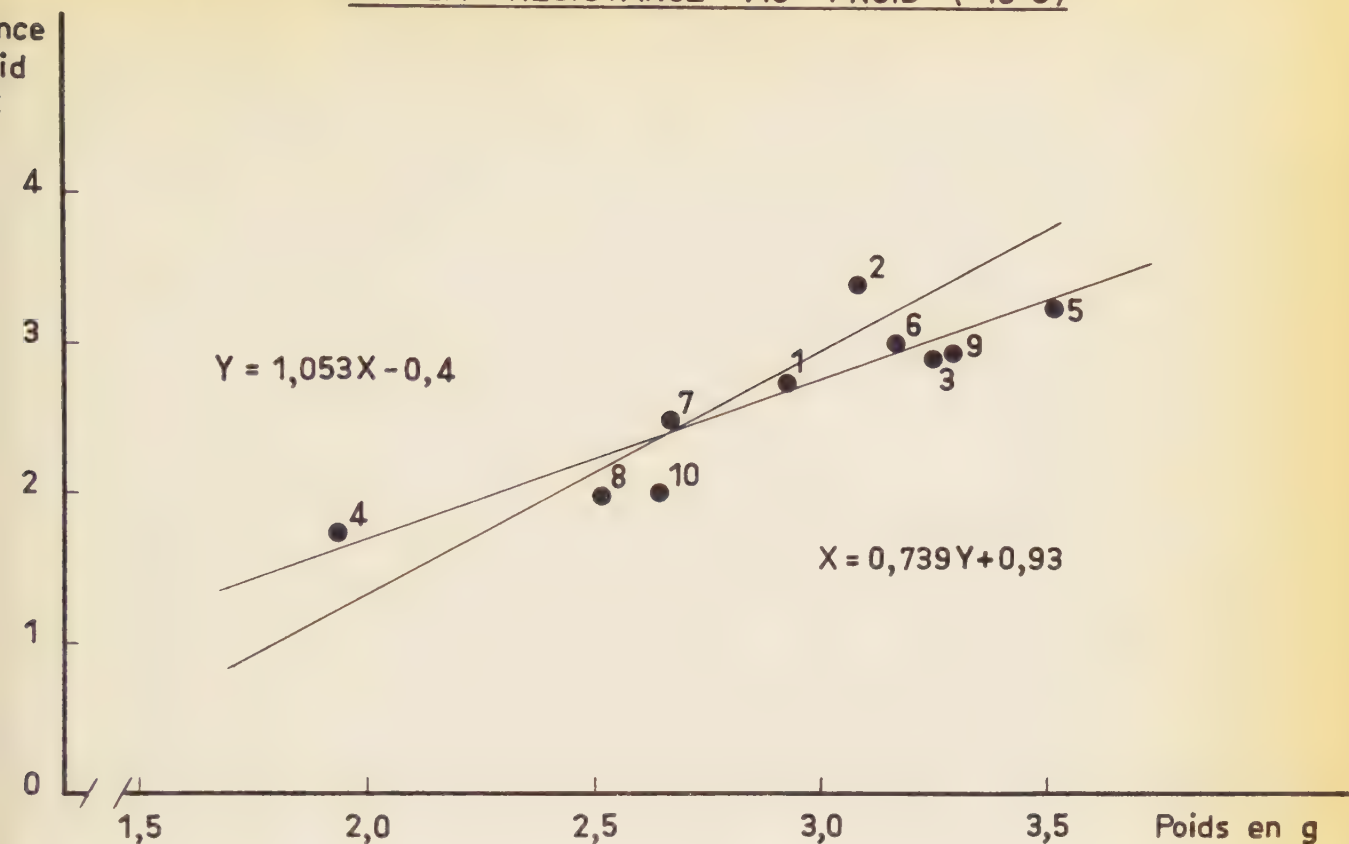
Significatif au seuil 0,01

+++

Significatif au seuil 0,001

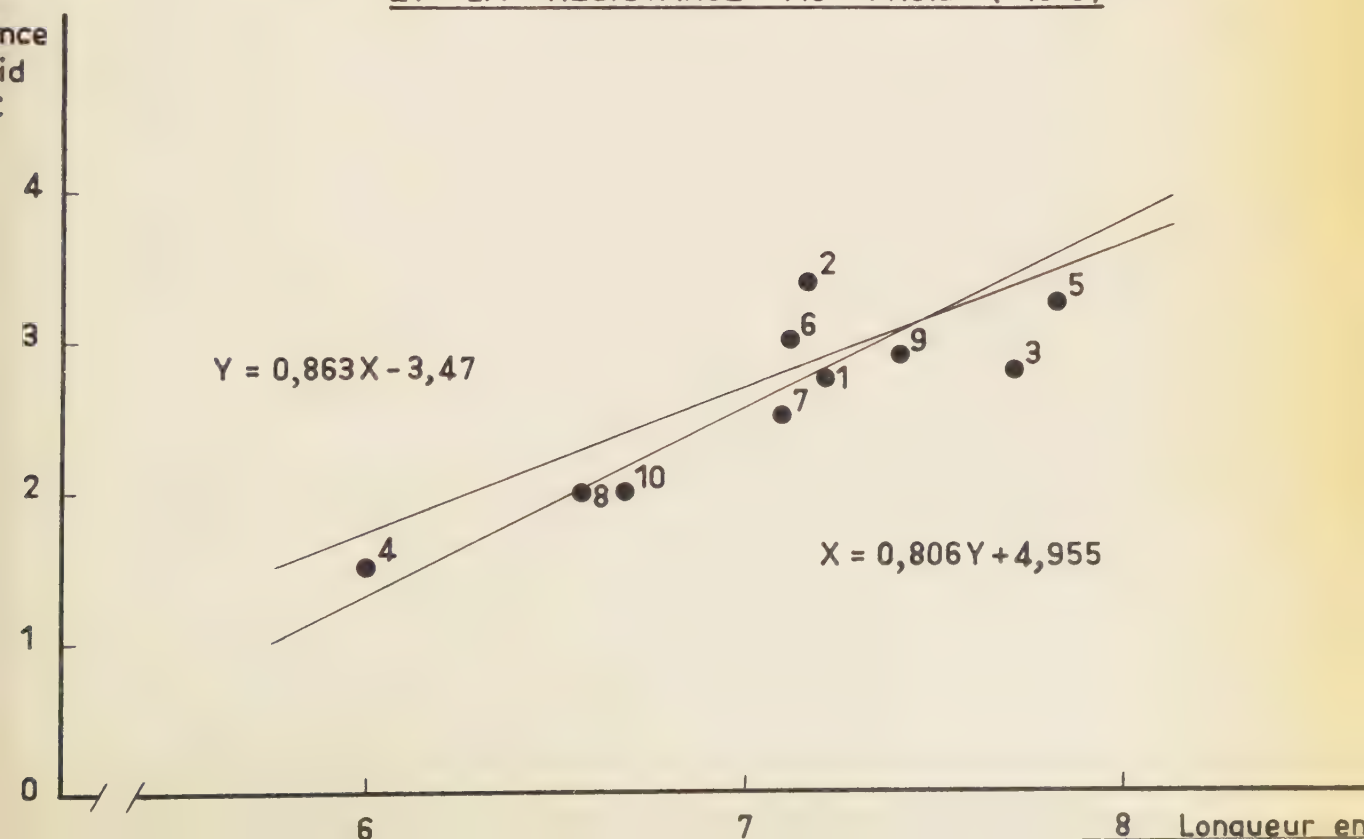
QUE 8-1

RELATION ENTRE LE POIDS DE 1000 GRAINES
ET LA RESISTANCE AU FROID (-10°C)



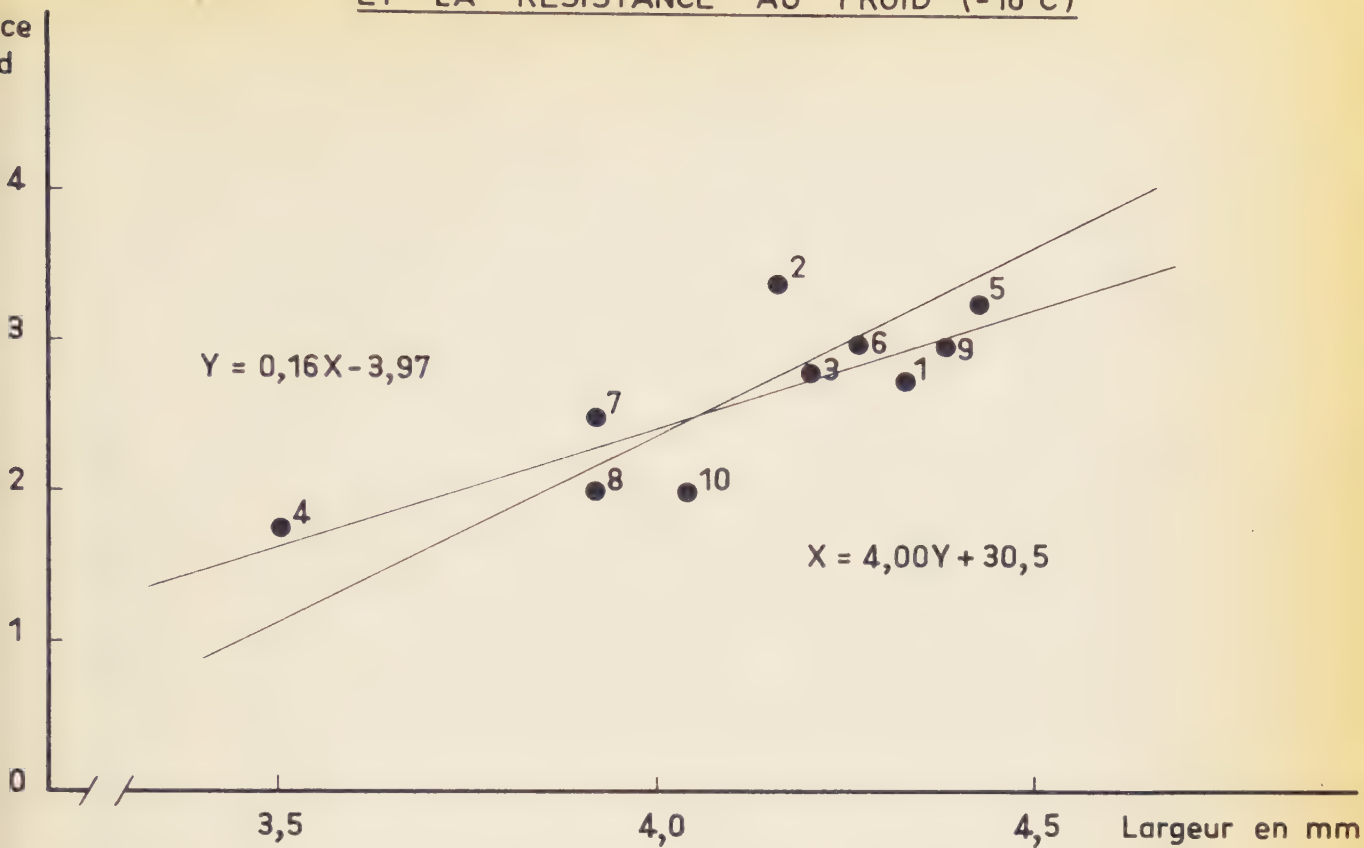
QUE 8-2

RELATION ENTRE LA LONGUEUR DES GRAINES
ET LA RESISTANCE AU FROID (-10°C)



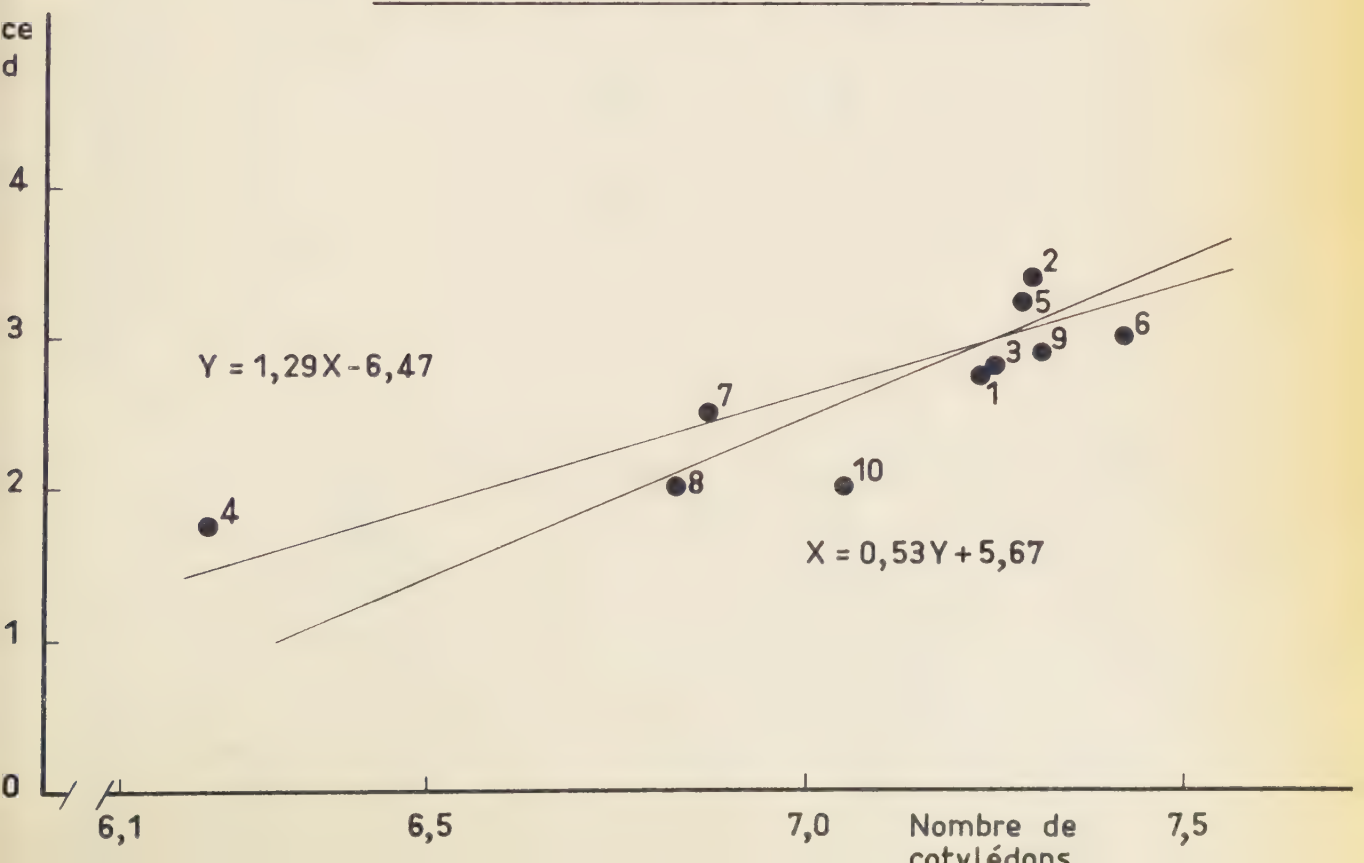
QUE 8-3

RELATION ENTRE LA LARGEUR DES GRAINES
ET LA RESISTANCE AU FROID (-10°C)

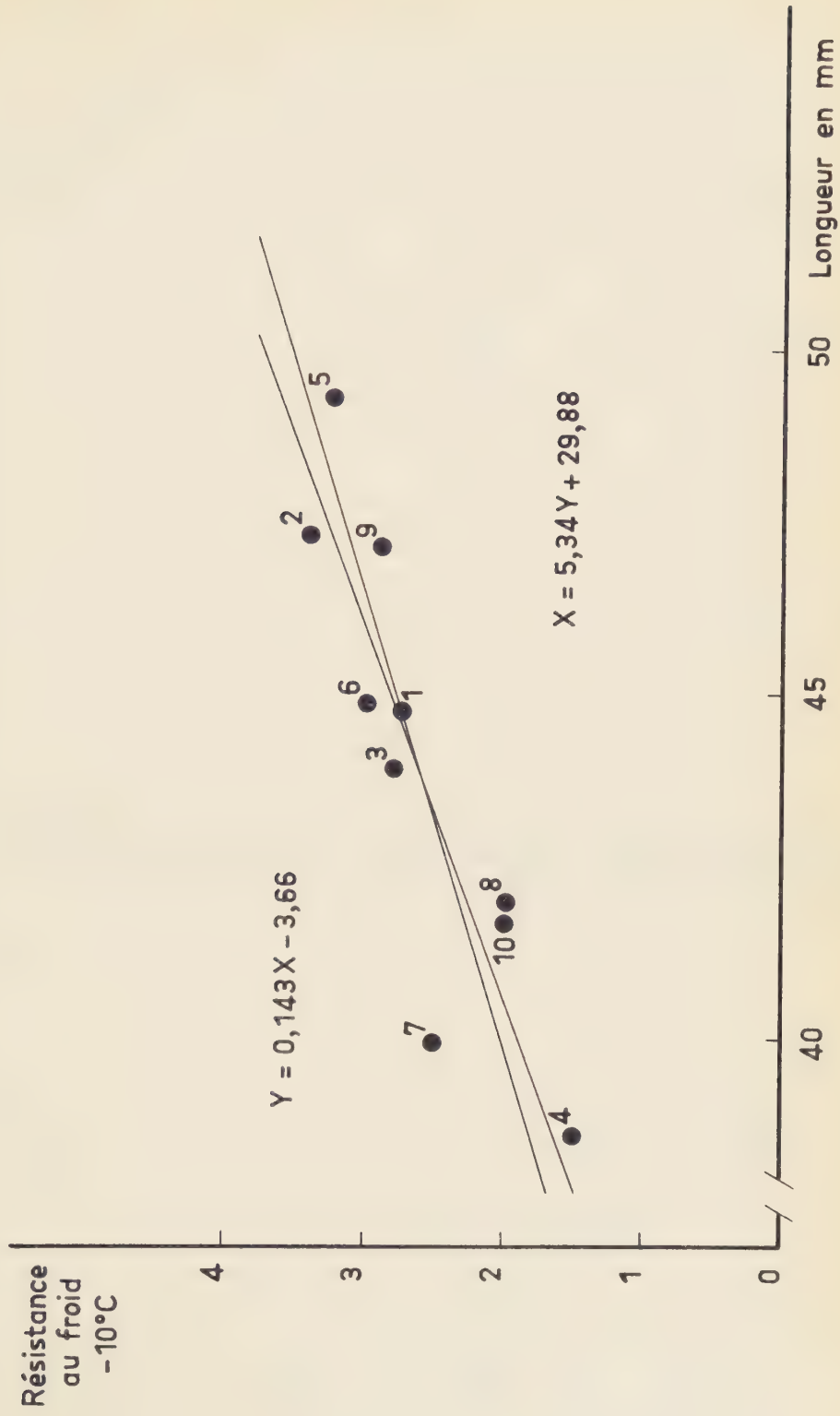


QUE 8-4

RELATION ENTRE LE NOMBRE DE COTYLEDONS
ET LA RESISTANCE AU FROID (-10°C)

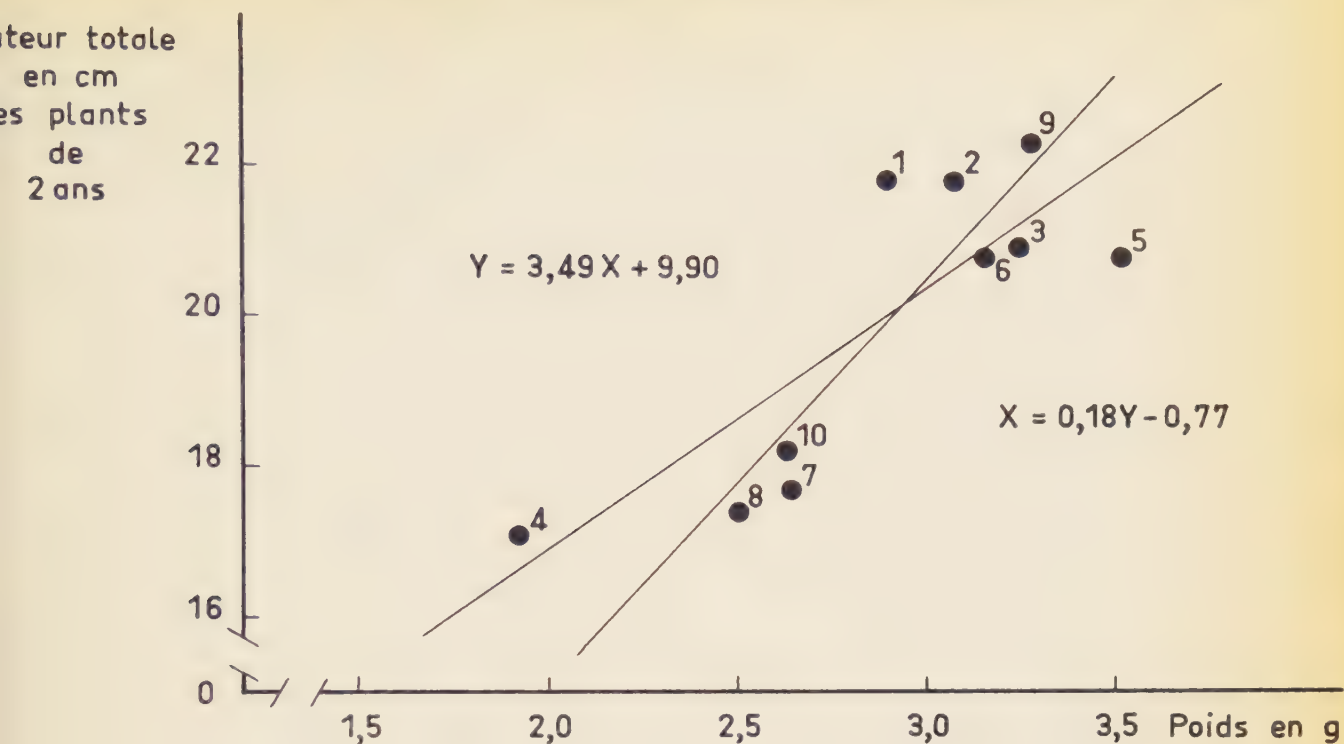


RELATION ENTRE LA LONGUEUR DES COTYLEDONS
ET LA RESISTANCE AU FROID (-10°C)



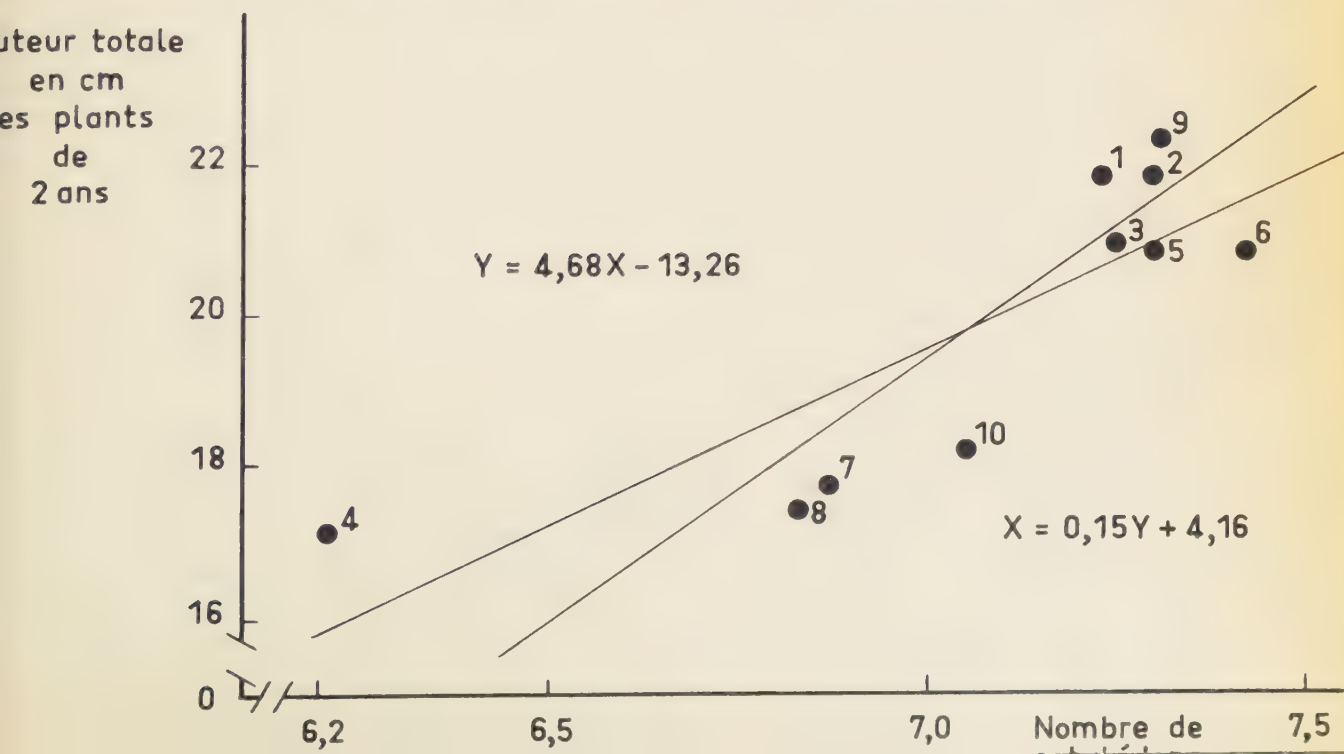
HIQUE 8-6

RELATION ENTRE LE POIDS DE 1000 GRAINES
ET LA HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE 2 ANS



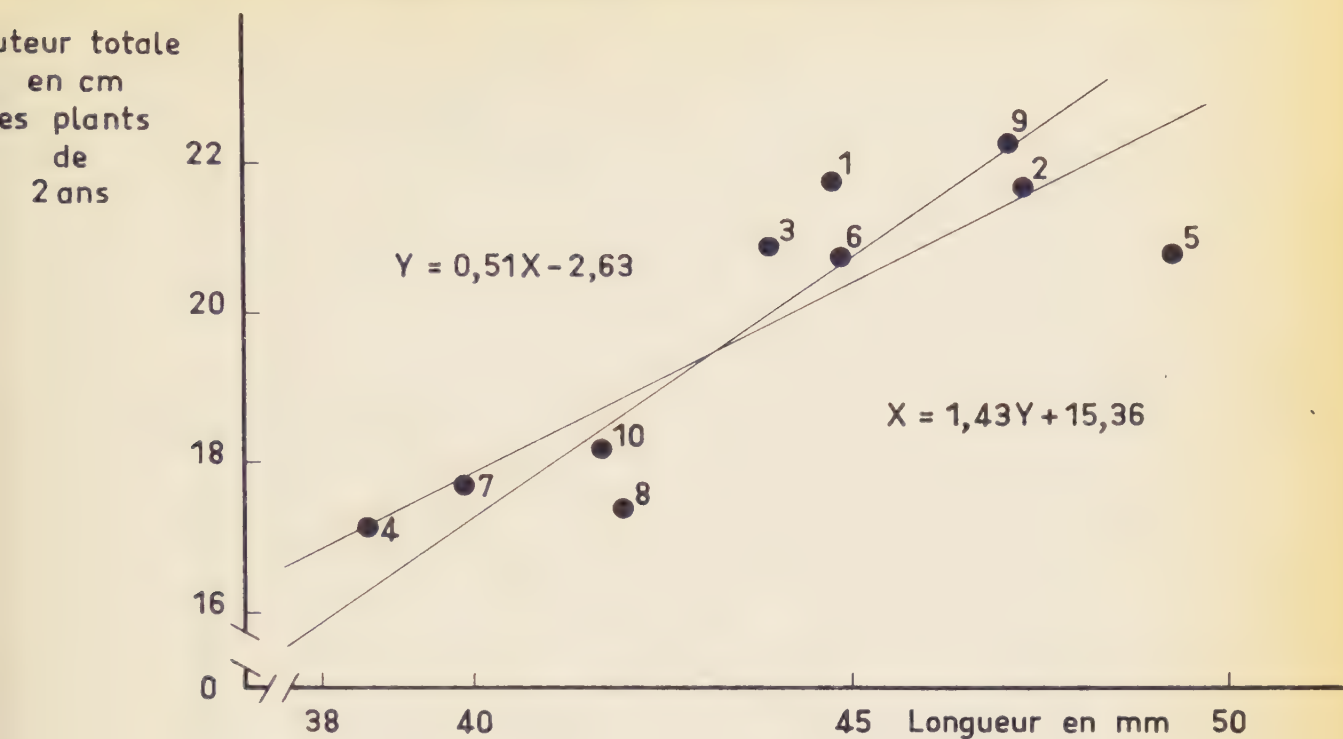
HIQUE 8-7

RELATION ENTRE LE NOMBRE DE COTYLEDONS
ET LA HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE 2 ANS



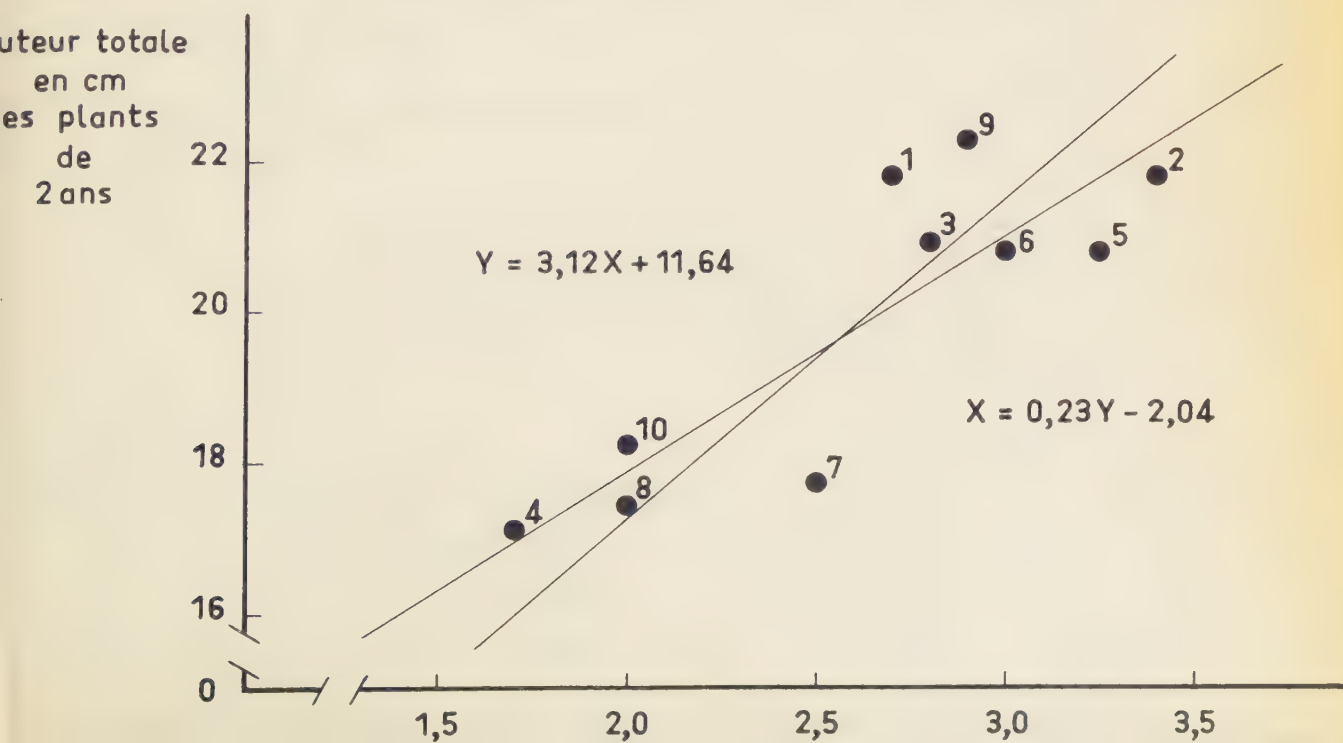
HIQUE 8-8

RELATION ENTRE LA LONGUEUR DES COTYLEDONS
ET LA HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE 2 ANS

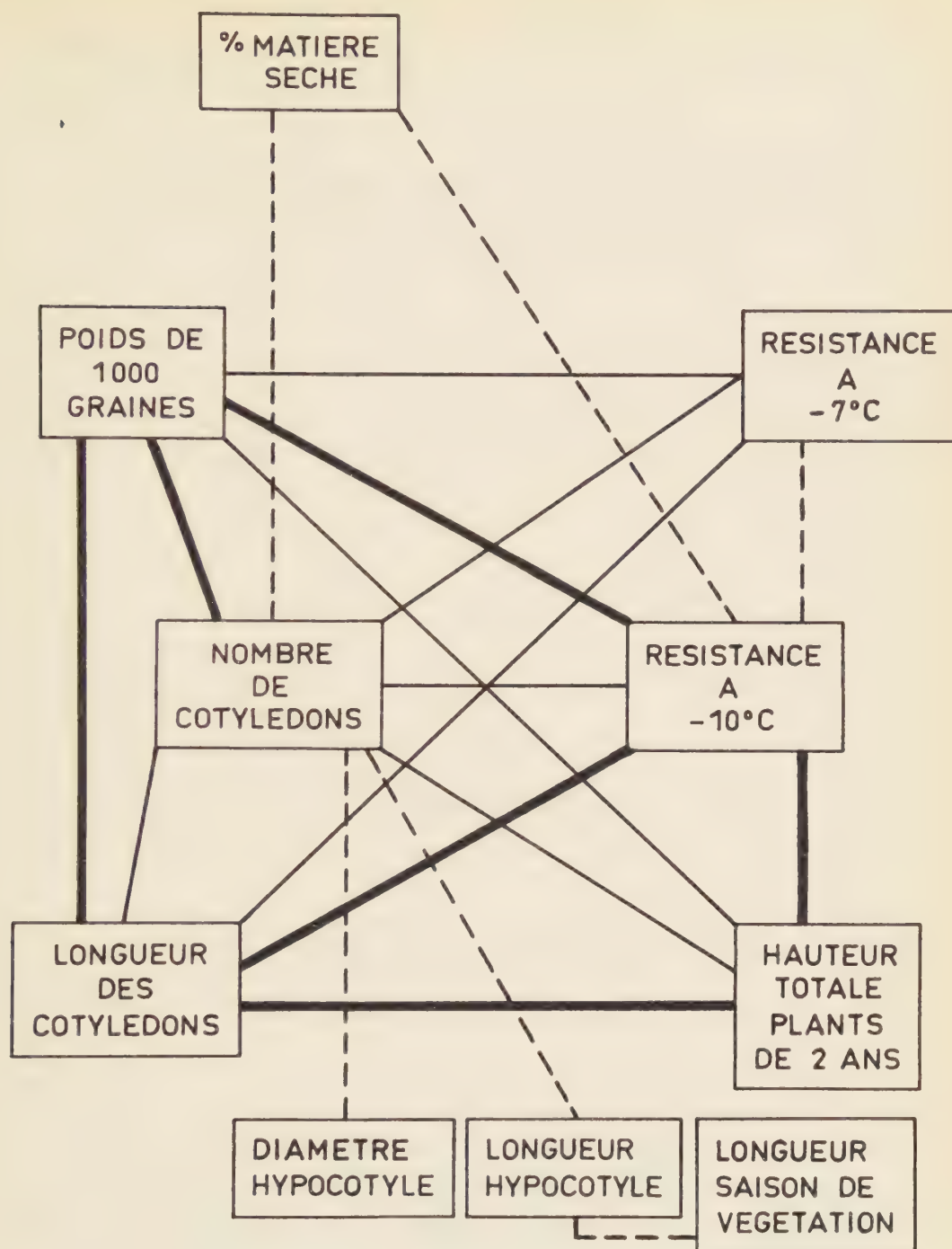


HIQUE 8-9

RELATION ENTRE LA RESISTANCE AU FROID (-10°C)
ET LA HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE 2 ANS



REPRESENTATION GRAPHIQUE DES CORRELATIONS ENTRE DIFFERENTS CARACTERES



LEGENDE :

Corrélations significatives :

- au seuil 0,001
- " " 0,01
- - -** " " 0,05

NOTA : Les caractères, non reliés par des lignes, ne présentent

On a trouvé également une faible corrélation entre la longueur des graines et le nombre de lignes de stomates ($r = 0,68^+$) et entre la teneur en matière sèche des aiguilles et le nombre de cotylédons ($r = 0,63^+$).

815 - Relations entre les caractères morphologiques et la longueur de la saison de végétation

La longueur de la saison de végétation, exprimée par le nombre de jours dont la température moyenne est égale ou supérieure à $+ 6^{\circ}\text{C}$, a été calculée par la formule de WIERSMA (77) qui est une modification de la formule de LANGLET (51) (52) :

$$N = 510 - 5,75 (L + 0,01 H)$$

N = Nombre de jours avec une température $\geq + 6^{\circ}\text{C}$

L = Latitude en degrés et dixièmes de degré

H = Altitude en mètres.

La longueur de la saison de végétation ainsi obtenue est indiquée dans le tableau 8b.

L'étude de corrélation, faite entre la longueur de la saison de végétation et les caractères morphologiques, n'a pas donné de résultats intéressants. Seule la longueur de l'hypocotyle est significativement liée à la longueur de la saison de végétation. Le coefficient obtenu est $r = 0,64$ significativement différent de 0, au seuil 0,05.

Nota : Les corrélations entre les différents caractères étudiés sont représentées schématiquement dans le graphique 8-10

TABEAU 8b - LONGUEUR DE LA SAISON DE VEGETATION DES
STATIONS D'ORIGINE DE CHAQUE PROVENANCE
 (Calculée par la méthode de WIERSMA)

Provenance	Longueur de la saison de végétation (jours)
VALP	315,30
CONS	302,83
CONC	292,48
MONT	292,00
SNLO	299,48
COMB	234,41
LOCU	226,24
LHOP	234,00
STTH	224,69
LEBA	293,22

82 - COEFFICIENTS DE CORRELATION PARTIELLE

Des coefficients de corrélation partielle ont été calculés pour déterminer l'importance de l'influence de chacun des caractères : poids de 1 000 graines, nombre de cotylédons et longueur des cotylédons sur la résistance au froid (à - 7°C et à - 10°C) et la hauteur totale des plants de 2 ans.

Les coefficients obtenus sont montrés dans le tableau 8c.

Dans ce tableau on a appelé x le poids de 1 000 graines, y le nombre de cotylédons, z la longueur des cotylédons, u la résistance à - 7°C, v la résistance à - 10°C et w la hauteur totale des plants de 2 ans.

TABEAU 8c - COEFFICIENTS DE CORRELATION PARTIELLE ENTRE LE POIDS DE
1 000 GRAINES, LE NOMBRE DE COTYLEDONS, LA LONGUEUR DES
COTYLEDONS ET LA RESISTANCE AU FROID (- 7°C ET - 10°C),
ET LA HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE 2 ANS

$r_{xu \cdot y} = 0,36$	$r_{xv \cdot y} = 0,52$	$r_{xw \cdot y} = 0,15$
$r_{yu \cdot x} = 0,19$	$r_{yv \cdot x} = 0,09$	$r_{yw \cdot x} = 0,36$
$r_{xu \cdot z} = 0,30$	$r_{xv \cdot z} = 0,45$	$r_{xw \cdot z} = 0,16$
$r_{zu \cdot x} = 0,30$	$r_{zv \cdot x} = 0,38$	$r_{zw \cdot x} = 0,51$
$r_{yu \cdot z} = 0,33$	$r_{yv \cdot z} = 0,23$	$r_{yw \cdot z} = 0,43$
$r_{zu \cdot y} = 0,38$	$r_{zv \cdot y} = 0,59$	$r_{zw \cdot y} = 0,56$

9 - DISCUSSION DES RESULTATS

91 - VARIABILITE DES CARACTERES

L'étude des caractères morphologiques des jeunes plants du pin de Monterey donne, dans l'ensemble, des résultats qui confirment quelques-uns de ceux obtenus par d'autres chercheurs (FORDE, 1964 ; BANNISTER, 1954, 1965) dans les peuplements naturels. Les différences morphologiques très frappantes trouvées au cours de cette étude entre les provenances Monterey et San Luis Obispo (= Cambria) permettent de confirmer l'hypothèse avancée par FORDE (34) de l'existence de divergences génétiques importantes entre les deux provenances californiennes.

En effet, il existe des différences très significatives (au seuil 0,01) entre les deux provenances, en ce qui concerne les moyennes des caractères suivants : poids de 1 000 graines, longueur des graines, largeur des graines, nombre de cotylédons, longueur des cotylédons, nombre de fascicules anormaux et longueur de l'hypocotyle.

FORDE (32), qui a étudié la variabilité des peuplements naturels utilisant des caractères des arbres adultes, signale des différences significatives entre les deux provenances mentionnées. Les arbres de la provenance Cambria, en comparaison avec ceux de Monterey, ont en moyenne des cônes plus larges, plus nombreux, avec des écailles plus larges, des aiguilles plus longues et plus épaisses, et les denticulations marginales des aiguilles, ainsi que les lignes de stomates, plus espacées.

Il serait donc permis de conclure qu'il existe une différence génétique entre ces deux populations naturelles.

En ce qui concerne les provenances artificielles étudiées, quelques remarques peuvent être faites sur la base des résultats obtenus : il y a des similitudes entre les provenances chiliennes Valparaiso, Cons-

titucion et Concepcion et deux provenances bretonnes (Combrit et St-Thégonnec). Les provenances Locunolé, L'Hôpital et Lebanon sont différentes du groupe antérieur.

Si l'on ne considère que les provenances chiliennes, on s'apercevra que la variabilité de leurs caractères est, en général, continue, et qu'elle se conforme assez bien à la position géographique de chacune. Mais, le nombre de provenances chiliennes expérimentées n'étant pas suffisamment grand pour déterminer la continuité de la variation, l'existence d'une variation clinale, modelée par la sélection naturelle dans les zones d'introduction, reste donc à prouver.

Comme il a été dit ci-dessus, les provenances bretonnes sont séparées en deux groupes : St-Thégonnec et Combrit d'une part, Locunolé et L'Hôpital d'autre part. Il y a des différences significatives pour les caractères suivants : poids de 1 000 graines, largeur des graines, nombre de cotylédons et longueur des cotylédons.

L'origine des provenances artificielles peut être déterminée avec une certaine précision. En effet, de l'analyse de la variabilité des caractères étudiés, on peut tirer les conclusions suivantes :

La provenance Monterey est significativement différente des autres et vraisemblablement elle n'est pas l'origine des provenances artificielles expérimentées.

San Luis Obispo est probablement l'origine des provenances Valparaíso, Constitucion, Concepcion, Combrit et St-Thégonnec.

Les provenances Lebanon, Locunolé et L'Hôpital, qui constituent un groupe différent des autres, seraient originaires de la troisième provenance californienne Año Nuevo Point, mais une comparaison plus poussée entre ces provenances et la provenance californienne serait alors nécessaire pour prouver cette affirmation.

La variabilité entre provenances des différents caractères est discutée ci-dessous.

911 - Caractères des graines

Les différences entre provenances pour les caractères : poids de 1 000 graines ($F_p = 13,29$), longueur des graines ($F_p = 53,16$), et largeur des graines ($F_p = 46,69$) sont très significatives (seuil de probabilité : 0,01). Elles permettent de séparer nettement la provenance Monterey de toutes les autres. Elles séparent également les provenances bretonnes Combrit et St-Thégonnec de Locunolé et L'Hôpital. La similitude de la provenance Lebanon avec ces deux dernières est aussi montrée. En outre, l'existence de parenté entre les provenances chiliennes et les provenances San Luis Obispo, Combrit et St-Thégonnec peut être déjà affirmée.

912 - Caractères des cotylédons

Les résultats obtenus pour les caractères des cotylédons (nombre de cotylédons et longueur des cotylédons) viennent à confirmer ceux obtenus pour les caractères des graines. L'existence de trois divisions entre les provenances étudiées peut être établie. Il y aurait un groupe composé par les provenances San Luis Obispo, Valparaiso, Constitution, Concepcion, Combrit et St-Thégonnec ; un autre comportant les provenances Locunolé, L'Hôpital et Lebanon et finalement la provenance Monterey, séparée des autres.

913 - Caractères de l'hypocotyle

Les différences entre provenances pour le diamètre de l'hypocotyle et pour la longueur de l'hypocotyle sont très significatives, et elles continuent à confirmer ce qu'on a dit pour les caractères antérieurs. Mais les provenances bretonnes présentent des différences non significatives, vraisemblablement parce que la discrimination effectuée par les caractères de l'hypocotyle est moins forte que celle des caractères des

graines et des cotylédons.

914 - Caractères des aiguilles

La variabilité entre provenances des caractères des aiguilles (longueur, largeur, nombre de denticulations marginales, pourcentage des fascicules anormaux) est différente de celle des caractères décrits jusqu'ici. Les provenances Monterey et San Luis Obispo ne montrent plus de différences significatives, et les différences entre les provenances bretonnes ont disparu. Les provenances chiliennes continuent néanmoins à montrer des similitudes.

La longueur et la largeur des aiguilles sont très influencées par les différences du milieu qui déterminent en dernier lieu les dimensions atteintes par les aiguilles à la fin d'une période donnée. Ceci pourrait expliquer la variabilité présentée par ces caractères.

915 - Caractères des stomates

Le caractère nombre de files de stomates uniquement présente des différences significatives entre les provenances, le nombre de stomates au millimètre n'étant pas significativement différent d'une provenance à l'autre. Le groupement des provenances est presque le même que celui des caractères des aiguilles.

916 - Hauteur totale des plants de deux ans

Les diverses provenances expérimentées présentent des différences très significatives entre elles pour le caractère hauteur totale des plants de deux ans. Le groupement des provenances est pratiquement le même que ceux des caractères des aiguilles et des stomates, sauf en ce qui concerne la provenance St-Thégonnec, qui pousse significativement plus vite que Lebanon, Locunolé et L'Hôpital.

917 - Caractères qui ne présentent pas de différences significatives

Les caractères suivants ne sont pas significativement différents d'une provenance à l'autre : nombre de poils dans les cotylédons, longueur de l'épicotyle, nombre de stomates au millimètre et teneur en matière sèche des aiguilles.

Pour ce dernier caractère, l'époque à laquelle les mesures ont été faites, a probablement influencé les résultats. En effet, les différences entre provenances ne seraient pas aussi importantes au mois de juillet qu'au début de l'hiver (51) (52).

92 - RESISTANCE AU FROID

Les deux expériences utilisées pour étudier la résistance au froid ont donné des résultats qui montrent l'existence de différences significatives entre les provenances, en ce qui concerne leur capacité de résistance aux basses températures hivernales.

L'expérience faite en pépinière, à une température minimum de -7°C , montre les faits suivants : la provenance San Luis Obispo est significativement plus résistante que la provenance Monterey. Il n'y a pas de différences significatives entre les provenances chiliennes, mais Constitution semble être plus résistante que Valparaiso et Concepcion. Les provenances bretonnes et la provenance sudafricaine ne sont pas significativement différentes, mais St-Thégonnec et Combrit sont, semble-t-il, plus résistantes.

L'expérience effectuée en chambre froide, à une température minimum de -10°C donne des résultats qui sont assez similaires de ceux obtenus à -7°C . D'ailleurs, une analyse de corrélation, faite pour les résultats des deux expériences, a donné un coefficient de corrélation

$r = + 0,70$ (significatif au seuil 0,05). Néanmoins, les différences cette fois-ci sont plus marquées probablement parce que la température plus basse sépare mieux les provenances. En effet, Combrit et St-Thégonnec sont significativement différentes de L'Hôpital et Lebanon.

On remarquera que le groupement des provenances résultant des expériences de résistance au froid est à peu près le même que celui de quelques caractères morphologiques, notamment les caractères des graines et des cotylédons. Les relations entre les résultats de la résistance au froid et des caractères morphologiques ont été l'objet d'une analyse de corrélation qu'on montrera un peu plus loin dans ce chapitre.

93 - RELATIONS ENTRE LES CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET LA RESISTANCE AU FROID

931 - Coefficients de corrélation totale

Les coefficients de corrélation trouvés entre la résistance au froid ($- 7^{\circ}\text{C}$ et $- 10^{\circ}\text{C}$) et les caractères poids de 1 000 graines, nombre de cotylédons et longueur des cotylédons, permettent d'établir la validité de ces caractères morphologiques comme tests très précoces de la résistance au froid au stade juvénile. Il serait donc possible de mesurer le poids de 1 000 graines, le nombre de cotylédons ou la longueur des cotylédons d'une provenance du pin de Monterey quelconque, pour prédire son comportement sous l'effet des basses températures, au moins dans les premières années.

Les corrélations entre les caractères morphologiques mentionnés et la résistance à $- 10^{\circ}\text{C}$ sont plus élevées que celles à $- 7^{\circ}\text{C}$, vraisemblablement parce que, à une température minimum plus basse, il existerait une meilleure séparation entre les provenances.

On a trouvé aussi des corrélations plus faibles entre le

nombre de files de stomates et la résistance au froid à -10°C ($r = 0,60$, significatif au seuil $0,05$) et entre la teneur en matière sèche des aiguilles et la résistance à -10°C ($r = 0,65$, significatif au seuil $0,05$).

La relation entre la teneur en matière sèche des aiguilles et la résistance aux basses températures a été établie par LANGLET (1937, 1959) pour le pin sylvestre. Cet auteur a démontré que les teneurs en matière sèche plus élevées correspondent aux provenances des stations d'origine plus froides. La faible valeur de la corrélation trouvée dans cette expérience peut probablement être attribuée au fait que les observations ont été faites pendant le mois de juillet, alors que LANGLET a déterminé cette corrélation à la fin de la période de végétation, moment où les différentes provenances seraient mieux préparées à résister au froid.

932 - Coefficients de corrélation partielle

Le calcul des coefficients de corrélation partielle entre les caractères morphologiques : poids de 1 000 graines, nombre de cotylédons, longueur des cotylédons, et la résistance au froid (-7°C et -10°C) a permis de déterminer quels sont les caractères les plus importants pour la prédiction de la résistance.

Du tableau 8c, on peut tirer les conclusions suivantes :

9321 - Résistance à -7°C

Le poids de 1 000 graines est une meilleure estimation que le nombre de cotylédons, de la résistance à -7°C .

Le poids de 1 000 graines et la longueur des cotylédons sont également valables pour prédire la résistance à -7°C .

La longueur des cotylédons est une meilleure estimation

que le nombre des cotylédons de la résistance à - 7°C.

9322 - Résistance à - 10°C

Le poids de 1 000 graines est une meilleure estimation que le nombre de cotylédons et la longueur des cotylédons de la résistance à - 10°C.

La longueur des cotylédons est une meilleure estimation que le nombre de cotylédons de la résistance à - 10°C.

En somme, le poids de 1 000 graines constitue un test précoce de la résistance au froid très valable.

94 - RELATIONS ENTRE LA LONGUEUR DE LA SAISON DE VEGETATION ET LES CARACTERES MORPHOLOGIQUES

Une tentative a été faite pour trouver des corrélations entre les caractères morphologiques et la longueur de la saison de végétation, déterminée par la méthode de WIER SMA (77). Les résultats ont été tous négatifs, sauf en ce qui concerne la longueur de l'hypocotyle, qui présente une faible corrélation avec la longueur de la saison de végétation ($r = 0,64$, significatif au seuil 0,05). Il est intéressant de signaler que cette relation a été aussi constatée par BURLEY (1966) chez Picea sitchensis (Bong.) Carr.

95 - RELATIONS ENTRE LA HAUTEUR TOTALE DES PLANTS DE DEUX ANS, LES CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET LA RESISTANCE AU FROID

La hauteur totale des plants à la fin de la deuxième saison de végétation est significativement liée au poids de 1 000 graines ($r = 0,81$, significatif au seuil 0,01), au nombre de cotylédons ($r = 0,83$,

significatif au seuil 0,01), à la longueur des cotylédons ($r = 0,87$, significatif au seuil 0,001) et à la résistance à -10°C ($r = 0,87$, significatif au seuil 0,001).

Donc, les provenances qui ont des graines plus lourdes, un nombre de cotylédons plus élevé, et des cotylédons plus longs poussent plus vite, au moins jusqu'à la deuxième année. En même temps, les provenances qui poussent plus rapidement ont une meilleure résistance au froid. Cette résistance pourrait être expliquée par la vigueur plus grande des plants de ces provenances.

Les analyses de corrélation partielle, faites pour déterminer l'importance de chaque caractère morphologique sur la hauteur des plants de deux ans ont donné les résultats suivants (tableau 8c) :

La longueur des cotylédons est un meilleur test précoce de la hauteur totale à deux ans que le poids de 1 000 graines et que le nombre de cotylédons.

Le nombre de cotylédons est une meilleure estimation de la hauteur totale à deux ans que le poids de 1 000 graines.

96 - SIMILITUDE ENTRE PROVENANCES. TESTS VARIÉTAUX

Il est possible d'identifier très tôt les provenances par des tests variétaux basés sur plusieurs caractères juvéniles. Dans cette expérience, il a été fait un test variétal basé sur les caractères suivants : poids de 1 000 graines, nombre de cotylédons, longueur des cotylédons et résistance à -10°C . Ces caractères ont été retenus pour la discrimination qu'ils font entre les diverses provenances expérimentées.

Dans le tableau 9a, on montre le nombre de caractères communs entre les différentes provenances, et le graphique 9-1 signale la parenté

entre les provenances.

Ces résultats confirment ce qu'il a été dit ci-avant sur l'existence de trois groupes de provenances bien différenciés.

En effet, il y a un groupe composé par les provenances San Luis Obispo, Concepcion, Constitucion, Valparaiso, St-Thégonnec et Combrit. San Luis Obispo serait alors l'origine des autres.

Un deuxième groupe est formé par Lebanon, Locunolé et L'Hôpital. Ces provenances auraient une origine différente, vraisemblablement la troisième provenance californienne Año Nuevo Point, qui ne figure pas dans l'expérience.

Et finalement, la provenance Monterey qui n'a aucun lien avec les autres et qui ne serait donc pas l'origine des provenances de l'expérience.

TABLEAU 9a - NOMBRE DES CARACTERES EN COMMUN DES DIFFERENTES PROVENANCES

MONT	MONT	SNLO	VALP	CONS	CONC	COMB	STTH	LEBA	LOCU	LHOP
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNLO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VALP	bd	bd	-	-	-	-	-	-	-	-
CONS	abd	abd	abd	-	-	-	-	-	-	-
CONC	abd	abd	abd	abd	-	-	-	-	-	-
COMB	abd	abd	abd	abd	abd	-	-	-	-	-
STTH	abd	abd	abd	abd	abd	abd	-	-	-	-
LEBA	b	b	ab	ab	b	abd	b	-	-	-
LOCU	c	c	ad	a	d	d	d	abd	-	-
LHOP	d	d	a	a	a	a	a	abd	abd	-

a - poids de 1 000 graines

b - nombre de cotylédons

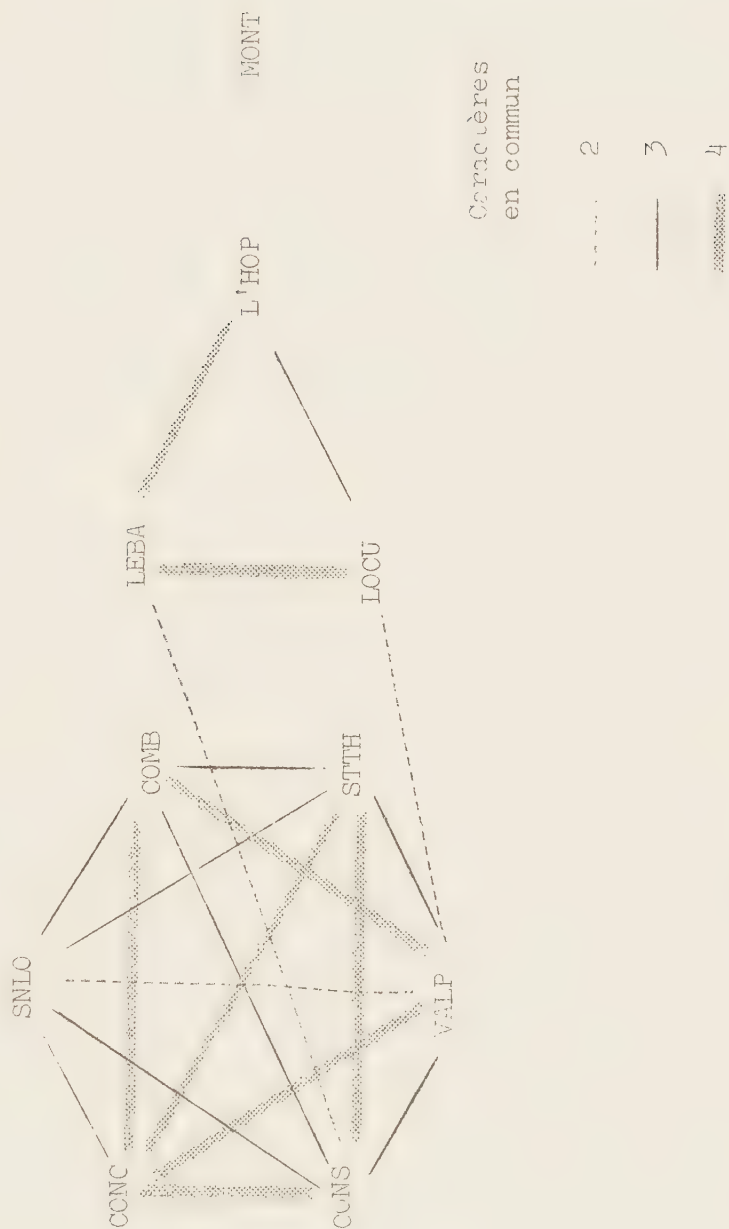
c - longueur des cotylédons

d - résistance à - 10° C

Nota : Lorsque deux provenances ne sont pas significativement différentes, la lettre correspondant au caractère figure dans la case commune.

GRAPHIQUE 9-1 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DES LIENS DE PARENTE ENTRE

LES DIFFERENTES PROVENANCES



10 - C O N C L U S I O N S

Les résultats de l'étude de la variabilité et de la résistance au froid des provenances du pin de Monterey amènent aux conclusions suivantes :

a - Les différences trouvées entre les provenances naturelles Monterey et San Luis Obispo permettent d'affirmer l'idée de la divergence génétique de ces deux provenances. Cette divergence serait due principalement à leur isolement géographique, qui a probablement empêché les migrations du pollen de l'une vers l'autre.

b - Les différences constatées entre toutes les provenances expérimentées sont suffisantes pour justifier la mise en marche d'un programme de sélection appliquée à cette espèce, notamment en vue d'obtenir des individus plus résistants aux basses températures.

c - Il est possible de déterminer l'origine de diverses provenances à l'aide de tests variétaux, faits sur des plantules d'un an et sur des graines. Les tests, effectués dans ce but, ont permis d'établir qu'aucune des provenances n'a Monterey comme origine, que San Luis Obispo est très probablement l'origine des provenances chiliennes et des provenances Combrit et St-Thégonnec, et finalement que Lebanon, Locunolé et L'Hôpital ont pour origine une troisième source, vraisemblablement Año Nuevo Point.

Les analyses de corrélation ont conduit aux conclusions suivantes :

a - Le poids de 1 000 graines, le nombre de cotylédons et la longueur des cotylédons constituent des tests précoces qui rendent possible la détermination, par une simple mesure de ces caractères, de la résistance

au froid au stade jeune plant. Le poids de 1 000 graines est un meilleur test de la résistance au froid, que le nombre de cotylédons et la longueur des cotylédons.

b - Ces trois caractères morphologiques permettent également de prédire la rapidité de croissance des plants, au moins jusqu'à l'âge de deux ans, mais cette prédiction est peut-être valable même pour des âges plus avancés. La relation entre le poids de 1 000 graines et la rapidité de croissance des peuplements semenciers d'épicéa a été démontrée par DIMITRIU-TATARANU (24). RUDEN (1963) a trouvé également une corrélation positive entre le poids de 1 000 graines et la hauteur des plants d'épicéa de 11 ans (62).

c - Le poids de 1 000 graines est intimement lié au nombre de cotylédons et à la longueur des cotylédons chez le pin de Monterey.

L'existence, à l'intérieur des provenances artificielles, d'un processus de sélection naturelle rapide dans la première génération, par l'action des températures basses, n'a pas pu être démontrée. On avait pensé qu'il était possible que cette sélection naturelle eût fonctionné dans le cas des provenances bretonnes, qui ont, au cours de plusieurs années, subi l'action de températures plus basses que -10°C ; mais les résultats de cette étude n'ont pas mis en évidence une sélection de ce genre, probablement en raison des faibles différences existant entre les températures minima des stations naturelles et des stations artificielles. Donc, il n'y a pas eu une modification brusque de la fréquence des gènes en ce qui concerne la résistance au froid.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - ALLEN, G.S. (1961)
Testing Douglas Fir seed for provenance.
Proc. Int. Seed Test. Ass. 26(3) : 388-403.
ISTA - Wageningen.
- 2 - BANNISTER, M.H. (1958)
Evidence of hybridization between Pinus attenuata and
P. radiata in New Zealand.
Forest Research Institute. 20pp.
- 3 - BANNISTER, M.H. (1958)
Variation in samples of two-year old Pinus attenuata,
P. radiata and their hybrids.
Tech. Paper n° 13 : 11-20. Forest Research Institute
N. Zeal. For. Serv.
- 4 - BANNISTER, M.H. (1963)
Planning a genetical survey of Pinus radiata populations.
FAO/FORGEN 63.4/1.
- 5 - BANNISTER, M.H. (1965)
Sampling the pines of Guadalupe Island and Cedros Island.
Silviculture Report n° 49.
Ronéotypé (circulation restreinte). Forest Research Institute.
- 6 - BONNER, J., (1952)
GALSTON, A.
Principles of Plant Physiology.
W. H. Freeman & Co. San Francisco.
- 7 - BOUVAREL, P. (1959)
Race ou variation clinale.
Revue Forestière Française - n° 6 : 463-464. Nancy.
- 8 - BOUVAREL, P. (1960)
Note sur la résistance au froid de quelques provenances de
pin maritime.
Revue Forestière Française - n° 7 : 495-508. Nancy.
- 9 - BOUVAREL, P. (1961)
Le problème de l'identification de l'origine des graines.
Suggestions pour quelques méthodes de recherches.
Compte rendus de l'ISTA. 26(3) - 404-410.

- 10 - BOUVAREL, P. (1961)
 Observations sur la date de l'aoûtement de quelques provenances françaises d'épicéa.
 Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences. 18(1) : 99-129. Nancy.
- 11 - BOUVAREL, P. (1962)
 L'influence de l'origine des graines d'épicéa sur la croissance en pépinière, la précocité et la fréquence des pousses d'août.
 Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences. 19(3) : 419-439. Nancy.
- 12 - BURLEY, J. (1966)
 Provenance variation in Growth of seedlings Apices of Sitka Spruce.
 Forest Science 12(2) : 171-175.
 Washington D.C.
- 13 - CALLAHAM, R.Z. (1964)
 La recherche sur les provenances et étude de la diversité génétique et de ses relations avec la géographie.
 Unasylva. 18(2-3) : 40-50. FAO, Roma.
- 14 - CHING, K.K., (1960)
 BEVER, D.
 Provenance study of Douglas-Fir in the Pacific Northwest Region I - Nursery performance.
 Silvae Genetica 9(1) : 1-32.
- 15 - COCHRAN, W.G., (1964)
 COX, G.M.
 Experimental Designs.
 Wiley Publications in Statistics. 2nd Edition, 611 pp.
 New York.
- 16 - COLLECTIF (1965)
 The research report of the institute of Forest Genetics n° 4.
 Office of rural development. Suwon, Korea.
- 17 - CORTES, H. (1963)
 Tamaño de conos y semillas de pino insigne (Pinus radiata D. Don) y sus efectos sobre el vigor de las plantulas.
 Facultad de Agronomía. Thèse ronéotypée, 115 pp.
 Santiago du Chili.
- 18 - DALLIMORE, W., (1961)
 JACKSON, A.B.
 A Handbook of Coniferae.
 Edward Arnold (Publishers) Ltd. London 686 pp.

- 19 - DEBAZAC, E.F. (1963)
Morphologie et sexualité chez les pins.
Revue Forestière Française. 4 : 293-301. Nancy.
- 20 - DEBAZAC, E.F. (1964)
Manuel des Conifères.
Ecole Nationale des Eaux et Forêts. Nancy. 172 pp.
- 21 - DEBAZAC, E.F., (1965)
TOMASSONNE, R.
Contribution à une étude comparée des pins méditerranéens de la section halepensis.
Annales des Sciences Forestières. 22(2) : 215-255. Nancy.
- 22 - DE FERRE, Y. (1952)
Les formes de jeunesse des abietacées. Ontogénie. Phylogénie.
Laboratoire forestier de Toulouse. Faculté des Sciences.
Tome 2 - 284pp. Toulouse.
- 23 - DE LA PUENTE, J.M. (1960)
Hybridization and introgression between Pinus radiata and P. attenuata.
Proc. 5th. World For. Congr., Seattle. 2(2) : 826-831.
- 24 - DIMITRIU-TATARAMU, J.,
BENEA, V. (1963)
Les possibilités d'utiliser les mesures statistiques portant sur des cônes et graines d'épicéa des Carpathes Orientales (Roumanie) en vue de la reconnaissance des populations d'élite.
FAO/FORGEN 63.3/15.
- 25 - DUMUR, M. (1964)
Enquête sur Pinus radiata (= P. insignis) - pin de Monterey - dans le Finistère.
CETEF du Finistère. 39pp.
- 26 - EICHE, V. (1966)
Cold damage and plant mortality in experimental provenance plantations with scots pine in Northern Sweden.
Studia Forestalia Suecica. 36 - Stockholm.
- 27 - FIELDING, J.M. (1953)
Variations in Monterey Pine.
Forestry and Timber Bureau. Bull. n° 31 - 43pp. Canberra.
- 28 - FIELDING, J.M. (1961)
An interesting progeny of a New Zealand Monterey pine.
Aust. For. 25(1) : 6-9.

- 29 - FIELDING, J.M. (1961)
Provenances of Monterey and bishop pines.
Forestry and Timber Bureau. Bull. n° 38 - 30pp. Canberra.
- 30 - FIELDING, J.M. (1964)
Notes on a Monterey pine seed orchard on Tallaganda State
Forest in New South Wales.
Australian Forestry 28 : 203-206. A.C.T.
- 31 - FIELDING, J.M. (1964)
Some characteristics of the cones and seed of Pinus radiata.
Leaflet. For. Tim. Bur. Aust. n° 89 - 19pp.
- 32 - FORDE, M. (1964a)
Variation in natural populations of Pinus radiata in California.
Part 1 - Sampling Methods and Branch Characters. N.Z.J.Bot. 2 :
- 33 - FORDE, M. (1964b)
Variation in natural populations of Pinus radiata in California.
Part 2 - Needle Characters.
Ibid. 2 : 257-257.
- 34 - FORDE, M. (1964c)
Variation in natural populations of Pinus radiata in California.
Part 3 and 4 - Cone characters and discussion.
Ibid. 2 : 459-501.
- 35 - GAUSSEN, H. (1960)
Les Gymnospermes actuelles et fossiles.
Fasc. VI- Chap. XI - Genre Pinus. Laboratoire Forestier de
Toulouse. 272pp - Toulouse.
- 36 - GIERTYCH, M.M., (1962)
FARRAR, J.L.
A provenance study of Jack pine seedlings.
Silvae Genetica 11(4):111-114.
- 37 - HADDERS, G. (1963)
Some causes of variation in the initial development of scots
pine (Pinus sylvestris L.)
FAO/FORGEN 63-2a8.
- 38 - HICKEL, R. (1911)
Graines et plantules des arbres et arbustes indigènes et
communément cultivés en France.
I Partie : Conifères. 179 pp.

- 39 - JENSEN, K.F., (1965)
GATHERUM, G.E.
Effects of temperature, photoperiod and provenance on growth and development of scotch pine seedlings.
Forest Science 11(2) : 189-199. Washington D.C.
- 40 - JOHNSON, A.G. (1953)
Juvenile selection Criteria.
1st Northeastern forest tree improvement conference. Proc.
75-77. Williamstown, Mass.
- 41 - KARSCHON, R. (1957)
Méthodes et applications de quelques diagnostics rapides dans la recherche forestière.
Der Züchter. Zeit. f. theor. u. angew. Genetik. 4 : 73-75.
- 42 - KENDREW, W.G. (1961)
The climates of the continents.
Clarendon Press. 5e Edition. 608pp. Oxford.
- 43 - KRIEBEL, H.B. (1963)
Some techniques for early diagnosis of Genotype in Acer saccharum L.
Der Züchter Zeit. f. theor. u. angew. Genetik. 6 : 68-70.
- 44 - KRIEBEL, H.B., (1965)
FAWLER, D.P.
Variability in needle characteristics of soft pine species and hybrids.
Silvae Genetica (3) : 73-76.
- 45 - KOFLER, L. (1963)

Croissance et développement des plantes.
Collection d'enseignement biologique. Gunther-Villars. Paris
233pp.
- 46 - KRAMER, P.J., (1960)
KOWZLOWSKI, T.T.
Physiology of trees.
Mac Graw Hill Book Co. London. 642pp.
- 47 - LACAZE, J.F. (1962)
La résistance au froid des eucalyptus. Compte rendu d'un test précoce sur E. gunnii (Hook) et E. cinerea (FvM).
Revue Forestière Française. n° 5 : 422-429. Nancy.

- 48 - LACAZE, J.F. (1964)
Note sur la résistance au froid du Douglas suivant l'origine des graines.
Revue Forestière Française. n° 3 : 225-227. Nancy.
- 49 - LACAZE, J.F., (1965)
LEMOINE, M.
Comportement de diverses provenances de Mélèze en Bretagne.
Annales des Sciences Forestières. 22(2) : 321-252. Nancy.
- 50 - LAMOTTE, M. (1962)
Initiation aux méthodes statistiques en biologie.
Masson et Cie - 144pp. Paris.
- 51 - LANGLET, O. (1937)
Studien über die physiologische Variabilität der Kiefer und deren Zusammenhang mit dem Klima. Beiträge zur Kenntnis der Ökotypen von Pinus sylvestris L.
Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Schwedens.
Heft 29 - 421-470. Stockholm.
- 52 - LANGLET, O. (1959)
A Cline or not a cline. A Question of Scots pine.
Silvae Genetica 8(1) : 13-22.
- 53 - LESTER, D.H., (1965)
BARR, G.R.
Provenance and Progeny tests in red pine.
Forest Science. 11(3) : 327-340, Washington D.C.
- 54 - LEVITT, J. (1951)
Frost, drought and heat resistance
Annual Review of Plant Physiology. 2 : 245-268. Stanford, Calif.
- 55 - LLODRA, J.M. (1964)
Aplicacion de la temperatura, rayos X y peroxido de hidrogeno en el estudio de la germinacion de las semillas de pino insigna (Pinus radiata D. Don).
Fac. de Agronomia. U. de Chile - Thèse ronéotypée. 84pp.
- 56 - MATTHEWS, J.D. (1966)
Standardization of methods for provenance research and testing.
Report to the IUFRO. Section 22. Working Group Meeting.
41pp. Pont-à-Mousson.
- 57 - MORANDINI, R. (1964)
Génétique et amélioration des essences exotiques.
Unasylva 18(2-3) : 51-60. FAO. Roma.

- 58 - MILLER, E.C. (1938)
Plant Physiology.
Mac Graw Hill Book. Co. London - 1201pp.
- 59 - NANSON, A. (1965)
Contribution à l'étude de la valeur des tests précoces (Expérience internationale sur l'origine des graines d'épicéa (1938).
Station de Recherches des Eaux et Forêts. Série E. n° 1 - 60pp.
Groenendaal-Hoeilaart.
- 60 - PRYOR, L.D. (1964)
Provenance in test improvement with particular references to Eucalyptus.
FAO/FORGEN 63.3/2.
- 61 - RIVES, M. (1959)
Sur la comparaison des moyennes dans les essais variétaux.
Annales de l'Amélioration des plantes.
Institut National de la Recherche Agronomique. 9(3) : 357-376.
- 62 - RUDEN, T. (1963)
Results from a 11 year old progeny test with Picea abies (L.) Karst, in South-Eastern Norway.
FAO/FORGEN 63-2a/9.
- 63 - SCHMIDT, W. (1963)
Early tests.
FAO/FORGEN 63.2a/10.
- 64 - SCOTT, C.W. (1962)
Le pin de Monterey.
FAO. Etudes des forêts et produits forestiers, n° 14. 342pp.
Roma.
- 65 - SZIKLAI, O. (1964)
Variation and inheritance of some physiological and morphological traits in Pseudotsuga menziesii (Mirb) Franco var. menziesii.
Fac. of Forestry. The University of British Columbia.
Thèse ronéotypée. 151pp.
- 66 - SNEDECOR, G.W. (1950)
Statistical methods.
The Iowa State College Press. 4th Edition. 485pp.
- 67 - SORENSEN, F. (1966)
Inheritance of cotyledon number in Douglas Fir.
Forest Science 12(2) : 175-176. Washington D.C.

- 68 - SPIEGEL, M.R. (1961)
Theory and Problems of Statistics.
Schaum Publishing Co. New York. 359pp.
- 69 - SQUILLACE, A.E. (1966)
Geographic variation in slash pine.
Forest Science. Monograph 10.
Soc. of American Foresters. Washington D.C.
- 70 - STERN, K. (1964)
La génétique des populations, prise comme base de la sélection.
Unasylva. 18(2-3) : 21-29 - FAO. Roma.
- 71 - SWEET, G.B. (1965)
Provenance differences in Pacific Coast Douglas-Fir.
I - Seed and seedling characteristics.
Silvae Genetica. 14(2) : 37-72.
- 72 - THULIN, I.J., (1964)
MILLER, J.T.
Seed size and altitude of seed source are significantly correlated in Larix decidua.
Research Leaflet. Forest Research Institute.
N. Zealand For. Serv. - n° 6.
- 73 - TOHA, J. (1964)
Vigor de las plantulas, capacidad y energia germinativas en relacion a la edad de los arboles padres en pino insigne (Pinus radiata D. Don).
Fac. de Agronomia. U. de Chile.
Thèse ronéotypée. 76pp.
- 74 - VESSERAU, A. (1960)
Méthodes statistiques en biologie et en agronomie.
J.B. Baillière et Fils. 538pp. Paris.
- 75 - VON DEICHMAN, V. (1963)
Some results on the determination of seed sources by the ignibility of forest tree seed. FAO/FORGEN 63.8/8.
- 76 - WELLS, O.O. (1964)
Geographic Variation in Ponderosa Pine.
I - The ecotypes and their distribution.
Silvae Genetica. 13(4) : 89-103.
- 77 - WIERSMA, J.H. (1963)
A new method of dealing with results of provenance tests.
Silvae Genetica. 12 : 200-205.
- 78 - WRIGHT, J.W. (1963)
Aspects génétiques de l'amélioration des arbres forestiers.
FAO. Etudes des forêts et produits forestiers, n° 16 : 431pp.
Roma.

R E S U M E

Deux provenances naturelles et huit provenances artificielles du pin de Monterey (Pinus radiata D. Don) ont été expérimentées afin d'étudier leur variabilité et leur résistance au froid. L'étude a été poursuivie à la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers, à Nancy, France.

Les résultats obtenus ont permis de tirer les conclusions indiquées ci-dessous :

a. Il existe des divergences importantes, vraisemblablement de type génétique entre les deux provenances naturelles Monterey et San Luis Obispo (= Cambria).

b. L'origine des différentes provenances peut être déterminée avec beaucoup de précision, à l'aide des tests variétaux basés sur des caractères juvéniles.

c. Le poids de 1 000 graines, le nombre de cotylédons et la longueur des cotylédons constituent des tests précoces de la résistance au froid au stade juvénile. Ces trois caractères morphologiques permettent également de prédire la rapidité de croissance des jeunes plants, au moins jusqu'à l'âge de deux ans.

d. L'existence à l'intérieur de provenances artificielles d'un processus de sélection naturelle rapide dans la première génération, par l'action des températures basses, n'a pas pu être mise en évidence.

e. La mise en marche des programmes de sélection ayant pour but l'obtention d'individus plus résistants au froid est pleinement justifiée par l'existence des différences constatées entre les provenances expérimentées.

R E S U M E N

Dos procedencias naturales y ocho procedencias artificiales del pino de Monterey (Pinus radiata D. Don) han sido objeto de un estudio hecho para determinar su variabilidad y su resistencia a las bajas temperaturas. El estudio fué llevado a cabo en la Estacion de Mejoramiento de los Arboles Forestales, en Nancy, Francia.

De los resultados obtenidos ha sido posible sacar las conclusiones siguientes :

a. Existen diferencias importantes, probablemente de tipo genético, entre las dos procedencias naturales Monterey y San Luis Obispo (= Cambria).

b. Mediante tests juveniles de procedencias puede ser determinado, con precision suficiente, el origen de las diversas procedencias.

c. El peso de 1 000 semillas, el número de cotiledones y la longitud de los cotiledones son tests precoces de la resistencia al frío en las etapas juveniles. Estos mismos tres caracteres morfológicos permiten también de predecir la rapidez de crecimiento de las plántulas, al menos durante los dos primeros años.

d. La existencia al interior de las procedencias artificiales de un proceso de selección natural rapido provocado por las temperaturas bajas, no ha podido ser probado.

e. La ejecución de programas de selección que tengan por objetivo obtener individuos resistentes al frío, se justifica por la existencia de las diferencias constatadas entre las procedencias utilizadas en la experiencia.

DEUXIEME THESE

Proposition donnée par la Faculté :

REPARTITION ET COMPORTEMENT DES PRINCIPALES ESPECES
DU GENRE NOTHOFAGUS AU CHILI

VU ET APPROUVE :

Nancy, le 1966.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

J. AUBRY.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Nancy, le 1966.

Le Recteur de l'Académie,

Président du Conseil de l'Université,

P. IMBS.

